

VIVIANE SEVERIANO DOS SANTOS

**NANO- E MICROFITOPLÂNCTON
DA BAÍA DE GUANABARA (RJ, BRASIL)
EM CONDIÇÕES TRÓFICAS DISTINTAS:
ASPECTOS ESTRUTURAIS E PRÉ - FUNCIONAIS**

**Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Ciências Biológicas –
Botânica, Museu Nacional / Universidade
Federal do Rio de Janeiro, como parte
dos requisitos necessários à obtenção do
título de Mestre.**

Orientadora: Profa. Maria Célia Villac

**RIO DE JANEIRO
2002**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
FÓRUM DE CIÊNCIA E CULTURA – MUSEU NACIONAL

**Nano- e micro*fitoplâncton* da baía de Guanabara
(RJ, Brasil) em condições tróficas distintas:
Aspectos estruturais e pré - funcionais**

VIVIANE SEVERIANO DOS SANTOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas
– Botânica, Museu Nacional / Universidade Federal do Rio de Janeiro, como
parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre.

Aprovada por:

Prof. _____

Prof. _____

Prof. _____

**Rio de Janeiro, RJ – Brasil
2002**

Dedico esses anos de estudo aos meus pais, pelo amor; à Maria Célia Villac, por ser uma ‘mãe científica’; e ao Dodô e Washinton que me fizeram perceber que “a vida TEM que ser vivida intensamente” e que “SOMOS mais fortes que imaginamos”.

AGRADECIMENTOS

Meu mais sincero agradecimento a minha orientadora neste trabalho e em todos os passos no meio acadêmico, Dra. Maria Célia Villac, por ter sido sempre presente tomando cuidado com todos os detalhes deste projeto, me orientando tanto na pesquisa quanto em questões éticas-profissionais.

Aos pesquisadores e professores das diversas áreas da Biologia (Biologia Marinha, Botânica, Ecologia, Limnologia), cuja colaboração foi imprescindível para o amadurecimento e realização deste trabalho.

À Dra. Denise Tenenbaum (Depto. Biologia Marinha – IB/UFRJ) por me apresentar ao fitoplâncton marinho, pela orientação nos mais diversos assuntos da área científica e profissional, e por gentilmente aceitar compor a banca examinadora durante este período turbulento.

À Dra. Vera Huszar (Depto. Ficologia – MN/UFRJ) pelos mais diversos ensinamentos sobre a ecologia do fitoplâncton e por despertar a minha curiosidade a respeito das teorias aplicáveis tanto na Limnologia quanto em ambientes marinhos.

À Dr. Sylvia Susini Ribeiro (Depto. de Ciências Biológicas - UESC) pela contribuição dada na fase inicial desta pesquisa através da avaliação da minha monografia e por aceitar voltar os olhos para este trabalho após sua conclusão, com nova participação na banca examinadora.

À Dra. Izabel Dias (Depto. Ficologia – MN/UFRJ) pela criteriosa revisão deste documento e sugestões fundamentais para o fechamento da estrutura da dissertação.

Ao Prof. Rodolfo Paranhos (Depto. Biologia Marinha – IB/UFRJ) pela colaboração na avaliação dos aspectos abióticos da baía de Guanabara e participação no Capítulo 3 deste trabalho.

Ao Dr. Jean Valentin (Depto. Biologia Marinha – IB/UFRJ) pela orientação no uso da estatística na Ecologia do Plâncton, não me deixando pecar por excessos acometidos por iniciantes.

À Dra. Eli Gomes (Depto. Biologia Marinha – IB/UFRJ) pela amizade e orientação no domínio da microscopia de epifluorescência e em discussões sobre elo microbiano e herbivoria.

À Dra. Kátia Rezende (Depto. Biologia Marinha – IB/UFRJ) por se mostrar disponível nas discussões sobre El Niño, frentes frias, correntes de maré e fitoplâncton.

Às instituições financiadoras deste projeto (CNPq; CAPES e FUJB/UFRJ).

Ao Programa de Pós-Graduação em Botânica (MN/UFRJ) por proporcionar grande enriquecimento acadêmico e não medir esforços para acompanhar e apoiar os alunos durante todas as fases do trabalho.

Ao Laboratório de Fitoplâncton Marinho (Depto. Biologia Marinha – IB/UFRJ) por ter oferecido todos os recursos necessários para o desenvolvimento deste trabalho.

A todos os professores do PPGB (MN/UFRJ), especialmente Mariângela Menezes e Vera Huszar (Lab. Ficologia – MN/UFRJ), e aos do IB (UFRJ) que participaram diretamente na minha formação acadêmica.

Às amigas conquistadas durante minha permanência no Laboratório de Fitoplâncton Marinho (IB/UFRJ): Carol, Ana, Jana, Gisa, Gisellinha, Cris. À Maria, Simone e Aline pelas importantes trocas a respeito das *Pseudo-nitzschia* da baía de Guanabara.

A todos os amigos conquistados na faculdade, especialmente aos que ainda se fazem muito presentes em minha vida, dando conselhos, badalando ou mesmo sentindo a minha falta e ligando apenas para ouvir minha voz, Carlinha, Deb, Rafa, Tati e Elielton.

Aos maravilhosos colegas encontrados durante minha passagem no PPGb, especialmente os “Capivaras”. Aos amigos que mais conviveram comigo nesse período, aturando meu humor oscilante: Carol, Ana, Ju, Karen, Max, Lacerda e Paulinha.

A todos que de forma direta ou indireta contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho, o meu muito obrigada.

E por último, mas não menos importantes (aliás, de suma importância), aos meus pais e irmão pela dedicação durante todo esse período, resolvendo meus problemas de última hora, mesmo quando não entendiam porque o fitoplâncton e a baía de Guanabara são tão importantes para mim. Aproveito para pedir desculpas pela minha ausência necessária, mas às vezes incompreendida.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS ii

LISTA DE ILUSTRAÇÕES vii

LISTA DE TABELAS ix

RESUMO x

ABSTRACT xi

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO GERAL 1

 1.1. O Fitoplâncton: Aspectos Conceituais e Metodológicos 1

 1.2. Baía de Guanabara e o Fitoplâncton 3

 1.3. Enfoque, Objetivos e Hipóteses deste Estudo 5

 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 10

CAPÍTULO 2 – METODOLOGIA 16

 2.1. Amostragem 16

 2.2. Trabalho de Campo 17

 2.3. Trabalho de Laboratório 17

 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 27

CAPÍTULO 3 - Microfitoplâncton como indicador de estado trófico na baía de Guanabara 29

 Abstract 29

 Introduction 30

 Methods 32

 Results 36

Trophic State and Overall Trends 36

Community Structure 40

Environmental Forcings of the Microphytoplankton Dynamics 43

 Discussion 45

 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 49

CAPÍTULO 4 - Variações temporais do microfitoplâncton da baía de Guanabara em média e larga escalas 53

 Resumo 53

 Introdução 54

 Área de Estudo e Amostragem 56

 Metodologia de Análise 59

 Resultados 60

 Discussão 67

Variações Sazonais 67

Variações Interanuais 69

Variações de Meso Escala 70

Mecanismos Controladores 72

 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 74

CAPÍTULO 5 - Variações espaciais e temporais do nanoplâncton e das bactérias filamentosas auto- e heterotróficos da baía de Guanabara79

Resumo 79

Introdução..... 80

Metodologia 81

Resultados e Discussão..... 82

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 89

CAPÍTULO 6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS.....92

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 100

A P Ê N D I C E102

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

CAPÍTULO 1.....	1
Figura 1.1 - Baía de Guanabara, RJ: setores com diferentes qualidades de água devido à distribuição irregular dos focos de poluição e dinâmica de circulação.....	4
CAPÍTULO 2.....	16
Mapa 2.1 - Baía de Guanabara (• pontos de coleta).....	16
Figura 2.1 - <i>Protoperidinium pentagonum</i> . (a) Desenho esquemático (escala = 10µm) e (b) figuras geométricas associadas. As linhas correspondem às medições feitas para se obter o volume das formas geométricas.....	22
Gráfico 2.1 - Relação entre a biomassa e o volume plasmático para as diferentes equações de conversão: Strathman (1967), Eppley (1970/74) e Montagnes et al. (1994). (a) diatomáceas e (b) demais classes.....	24
CAPÍTULO 3.....	29
Figure 3.1 - Guanabara Bay, Brazil, showing site Urca and site Ramos, that were visited weekly from July 1998 to December 2000.....	34
Figure 3.2 - Abundance of the microphytoplankton from July 1998 to December 2000, differentiating the contributions of auto and heterotrophs at both sampling sites, Urca and Ramos: (a) cell density and (b) biomass.....	37
Figure 3.3 - Relative proportion of total autotrophs and heterotrophs at Urca and Ramos: (a) and (b) cell density, (c) and (d) biomass.....	39
Figure 3.4 - Median values of the relative proportion of autotrophs at Urca and Ramos in terms of major taxonomic groups: (a) and (b) cell density, (c) and (d) biomass.....	39
Figure 3.5 - Principal Component Analysis (factorial planes 1 vs. 2) based on (a) abiotic data and on (b) phytoplankton data. Symbols: Site Urca (▲), Ramos (●), temperature (T), tide (TIDE), salinity (SAL), total organic matter (TOM), dissolved organic matter (DOM), suspended particulate matter (SPM), dissolved oxygen (DO), total nitrogen (TN), total inorganic nitrogen (TIN), ammonia (NH ₃), nitrite (NO ₂), nitrate (NO ₃), total phosphorus (TP), phosphate (PO ₄), total N:P ratio (TN:TP), silicate (Si).....	44

CAPÍTULO 4.....	53
Figura 4.1 - Baía de Guanabara, Brasil, mostrando os pontos Urca e Ramos, amostrados semanalmente de julho de 1998 a dezembro de 2000.....	57
Figura 4.2 - Variáveis climatológicas (a) pluviosidade e (b) temperatura do ar na baía de Guanabara durante o período de estudo (1998-2000) comparadas à média histórica (1961-1990).....	58
Figura 4.3 - Temperatura da água e salinidade durante o período de estudo (07/1998 a 12/2000) nos pontos (a) Urca e (b) Ramos.....	59
Figura 4.4 - Abundância total do microfitoplâncton nos pontos Urca e Ramos (07/1998 a 12/2000): (a) e (b) densidade, (c) e (d) biomassa. Legenda: O-I = outono-inverno (abril a agosto); P = primavera (setembro a dezembro); V = verão (janeiro a março); 1-5 = períodos estabelecidos segundo variação na biomassa total (vide texto).....	61
Figura 4.5 - Abundância relativa dos grupos microfitoplanctônicos nos pontos Urca e Ramos (07/1998 a 12/2000): (a) e (b) densidade, (c) e (d) biomassa. Legenda: O-I = outono-inverno (abril a agosto); P = primavera (setembro a dezembro); V = verão (janeiro a março).....	62
Figura 4.6 - “Box plots” mostrando variações interanuais da biomassa do microfitoplâncton total e diatomáceas nos pontos Urca e Ramos durante o período de estudo (1998-2000). O verão inclui os meses de janeiro a março; o outono-inverno os meses de abril a agosto; a primavera os meses de setembro a dezembro.....	64
Figura 4.7 - Unidade de desvio padrão da biomassa dos grupos taxonômicos nos pontos Urca e Ramos (07/1998 a 12/2000). Legenda: O-I = outono-inverno (abril a agosto); P = primavera (setembro a dezembro); V = verão (janeiro a março).....	65
CAPÍTULO 5.....	79
Figura 5.1 - Baía de Guanabara, Rio de Janeiro (RJ), mostrando os pontos Urca e Ramos, amostrados semanalmente durante o ano de 2000.....	82
Figura 5.2 - Densidade de organismos auto- e heterotróficos dos pontos Urca e Ramos: (a) e (b) nanoplâncton, (c) e (d) bactérias filamentosas.....	84
Figura 5.3 - Biomassa de organismos auto- e heterotróficos dos pontos Urca e Ramos: (a) e (b) nanoplâncton, (c) e (d) bactérias filamentosas.....	86

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 2.....	16
Tabela 2.1 - Resultado do teste t para amostras pareadas.....	18
CAPÍTULO 3.....	29
Table 3.1 - Classification of trophic states for marine systems according to Hakanson (1994).....	35
Table 3.2 - Data for site Urca and site Ramos. Minimum, maximum, mean, standard deviation and median values of the following variables are displayed: salinity, dissolved oxygen (mg.L ⁻¹), dissolved organic matter (mg.L ⁻¹), suspended particulate matter (mg.L ⁻¹), nutrients (μM), diversity of autotrophs (bits.cell ⁻¹), number of taxa of auto and heterotrophs, and cell density (cell.L ⁻¹) and biomass (μgC.L ⁻¹) of auto and heterotrophs.....	38
Table 3.3 - Minimum, maximum, mean, standard deviation and median values of cell density (cells.L ⁻¹) and biomass (μgC.L ⁻¹) of autotrophs found at Urca and Ramos.....	42
CAPÍTULO 4.....	53
Tabela 4.1 - Médias e desvios padrões da densidade e biomassa do microfitoplâncton anuais e para todo o período de estudo (1998-2000) nos pontos Urca (UR) e Ramos (RA).....	61
Tabela 4.2 - Condições de altas biomassas nos pontos Urca (UR) e Ramos (RA) de acordo com a maré. Legenda: B = maré baixa; A = maré alta; V = maré vazante; E = maré enchente; S = sizígia; Q = quadratura.....	66
Tabela 4.3 - Correlação entre variáveis bióticas e abióticas nos pontos Urca e Ramos (Urca / Ramos). DC = densidade celular; BM = biomassa; TX = n° de taxa; DIV = índice de diversidade Shannon-Winner; T = temperatura da água; SAL = salinidade; MPS = material particulado em suspensão; NO ₃ = nitrato; NIT = nitrogênio inorgânico total; PO ₄ = fosfato; MOT = matéria orgânica total; MOD = matéria orgânica dissolvida.....	67

RESUMO

Este trabalho apresenta as variações espaciais e temporais do nano- e microfitoplâncton da baía de Guanabara, Rio de Janeiro, Brasil, sob aspectos estruturais (composição e abundância) e pré-funcionais (proporção de auto e heterótrofos e biomassa). A estratégia amostral incluiu coletas intensivas (semanais) durante dois anos e meio (07/1998 a 12/2000), a 0,5 m, em dois pontos com qualidades de águas distintas: Urca (na entrada) e Ramos (no interior). O fitoplâncton apresentou abundância uma ordem de grandeza maior em Ramos, com densidades de autótrofos na ordem de $10^7 - 10^9 \text{ cel.L}^{-1}$ para o nano e $10^5 - 10^7 \text{ cel.L}^{-1}$ para o microfito, e biomassas na ordem de $10^2 - 10^3 \mu\text{gC.L}^{-1}$ para o nano e $10 - 10^3 \mu\text{gC.L}^{-1}$ para o microfito. Na Urca, foram encontradas menores abundâncias absolutas e relativas também de heterótrofos. Foram listados para o microfitoplâncton 168 táxons na Urca e 69 em Ramos, sendo as diatomáceas o grupo de maior destaque, seguido pelos dinoflagelados. A metodologia de análise do nanoplâncton (somente epifluorescência) permitiu a identificação apenas de alguns grupos (diatomáceas, dinoflagelados, criptofíceas e cianobactérias). A mediana da diversidade microfitoplanctônica foi 2,43 bits.cel⁻¹ na Urca e 1.68 bits.cel⁻¹ em Ramos. O estado trófico (meso-eutrófico na Urca e hipereutrófico em Ramos) e a salinidade (menor em Ramos) foram identificados como os principais fatores determinantes da diferença espacial encontrada para o fitoplâncton. As variações sazonais foram condicionadas por um verão chuvoso (predomínio de diatomáceas e cianofíceas) e um inverno seco (aumento na contribuição de flagelados). A sazonalidade mais marcada do fitoplâncton de Ramos foi atribuída a maior influência do aumento do fluxo dos rios nesta área. Variações interanuais coincidiram com os anos de ocorrência do fenômeno ‘La Niña’ (1998 e 1999), quando foram encontradas tendências sazonais diferentes do padrão observado para a baía de Guanabara. Variações semanais foram detectadas principalmente para o grupo dos dinoflagelados e euglenofíceas no interior da baía, área de maior estresse ambiental. A estimativa da biomassa total, a partir do biovolume, mostrou que a fração do microfitoplâncton apresentou importância similar ou maior que o nanoplâncton, ao contrário do que mostrou a densidade celular. Além disso, os heterótrofos nanoplanctônicos foram relativamente menos abundantes quanto à biomassa, enquanto o contrário ocorreu para os microfitoplanctônicos. A biomassa em termos de carbono, mesmo sendo uma medida estática, foi de extrema importância na determinação da real contribuição das frações (nano/microfito) e seus componentes (auto/hetero; grupos autotróficos), e na análise da distribuição dos organismos. Além disso, foi um parâmetro chave na interpretação dos estados tróficos determinados para a baía de Guanabara.

ABSTRACT

This research presents the space-time variations for the nano- and microphytoplankton of Guanabara Bay, Rio de Janeiro, Brazil, focussing on the structure (composition and abundance) and pre-functional (auto and heterotrophic components, biomass) aspects of the community. Sampling strategy included intensive sampling (weekly) for two and a half years (July/1998 – December/2000), at 0.5 m, at two sites with different water qualities: Urca (close to the entrance) e Ramos (inner-reaches). The abundance of the phytoplankton was one order of magnitude higher at Ramos, where cell density of autotrophs varied around $10^7 - 10^9$ cells.L⁻¹ for the nanoplankton and $10^5 - 10^7$ cells.L⁻¹ for the microplankton, while biomass values varied around $10^2 - 10^3$ µgC.L⁻¹ and $10 - 10^3$ µgC.L⁻¹, respectively. At Urca, lower relative and absolute abundances of heterotrophs were also found. The species list for the microphytoplankton included 168 taxa for Urca and 69 for Ramos; diatoms were the best-represented species, followed by dinoflagellates. For the nanophytoplankton, it was identified just some groups (diatoms, dinoflagellates, cryptophytes and cyanobacteria) due to methodology of analysis (just epifluorescence). Median diversity of microphytoplankton was 2.43 bits.cell⁻¹ at Urca and 1.68 bits.cell⁻¹ at Ramos. Trophic state (meso-eutrophic for Urca and hypertrophic for Ramos) and salinity (lower at Ramos) were identified as the main forcings determining the space variation found for the phytoplankton. Seasonal variations were associated to a rainy summer (dominance of diatoms and cyanobacteria) and a dryer winter (increase on the contribution of flagellates). The stronger seasonal variation found for Ramos was attributed to the greater influence of direct river flow to this area. Interannual variations coincided with the occurrence of “La Niña” years (1998 and 1999) when seasonal variations were different from those considered as the pattern for Guanabara Bay. Weekly variations were detected, especially for dinoflagellates and euglenophytes from the inner-reaches of the bay, the area under stronger environmental stress. Estimates of total biomass from cell biovolume showed that the contribution of the microphytoplankton was equivalent and, at time, even greater than that of the nanoplankton, in contrast to what was indicated by the cell density data. Moreover, the heterotrophic componentes of nanoplankton were less abundant in terms of biomass, while the opposite occurred for microplankton ones. Biomass in terms of carbon, while still providing a sinoptic scenario of the community, was very important to determine the true contribution of each fraction (nano:microphytoplankton) and of each component (auto:heterotrophs), which were key to support the trophic states determined for Guanabara Bay.

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO GERAL

1.1. O Fitoplâncton: Aspectos Conceituais e Metodológicos

O plâncton marinho é composto por organismos pelágicos cujo poder de deslocamento é insuficiente para vencer a dinâmica das massas d'água no oceano (PÉRÈS, 1976). Segundo o tipo de organismo, o plâncton pode ser dividido em bacterioplâncton (bactérias auto e heterotróficas), fitoplâncton (microalgas), protozooplâncton (protozoários) e zooplâncton (pequenos animais - metazoários e larvas de crustáceos, moluscos e peixes) (FENCHEL, 1988). O fitoplâncton, objeto deste estudo, inclui organismos autotróficos, apesar de alguns grupos taxonômicos (p.e., dinoflagelados) estarem representados por formas auto, hetero e mixotróficas.

Do ponto de vista dimensional, o plâncton pode ser classificado em picoplâncton ($0,2\mu\text{m} - 2\mu\text{m}$), nanoplâncton ($2\mu\text{m} - 20\mu\text{m}$), microplâncton ($20\mu\text{m} - 200\mu\text{m}$) e mesoplâncton ($> 200\mu\text{m}$) (SIEBURTH et al., 1978). O picoplâncton inclui bactérias autotróficas (cianobactérias) e heterotróficas, bem como proclorófitas (algas procariontes que possuem clorofilas *a* e *b*). O nanoplâncton é composto por diatomáceas, cianobactérias e pequenos flagelados e o microplâncton é constituído por cianobactérias, microalgas (p.e., diatomáceas, dinoflagelados, criptofíceas, silicoflagelados, euglenofíceas e prasinofíceas) e protozoários (p.e., ciliados e flagelados) (FENCHEL, 1988).

Os primeiros estudos sobre o fitoplâncton enfocavam aspectos estritamente taxonômicos sendo obtidas listas de espécies ocorrentes em diversos ecossistemas aquáticos, especialmente de organismos de maior porte capturados a partir de redes de coleta (FOGG, 1990). No século XX, entre as décadas de 30 e 50, a partir da elaboração e aprimoramento de métodos de quantificação das comunidades fitoplanctônicas naturais (LUND, 1951; LUND et al., 1958; UTERMÖHL, 1958), começaram a ser realizados trabalhos abordando aspectos ecológicos acerca da estrutura do fitoplâncton, considerando, além da riqueza específica, maior acuidade na determinação da densidade

absoluta das células por um volume conhecido. O aprimoramento de técnicas de dosagem de clorofila (referências em NEVEUX, 1978) e a proposição de métodos de medição da produção primária, quer seja pela técnica do oxigênio em frascos escuros:claros ou pela do C¹⁴ (referências em JACQUES, 1978) impulsionaram os trabalhos ecológicos a abordarem aspectos funcionais das comunidades fitoplanctônicas, muitas vezes sem considerar a taxonomia dos grupos.

A importância quantitativa e ecológica dos organismos de pequeno porte (pico e nanoplâncton) que não eram capturados por redes de coleta já era reconhecida por pesquisadores como Kofoed¹ (em 1897) e Lohmann² (em 1911), mas sem comprovação por limitações técnicas; a introdução de microscopia de fluorescência e medidas de biomassa autotrófica (pigmentos e produção) em estudos sobre o fitoplâncton veio preencher esta lacuna cerca de meio século mais tarde (FOGG, 1990). O estabelecimento de novos paradigmas a partir dos avanços no conhecimento da função do fitoplâncton na teia alimentar e da estrutura da teia microbiana, com a definição do conceito da alça microbiana (POMEROY, 1974; AZAM et al., 1983), motivou ainda mais a determinação de abordagens funcionais do fitoplâncton, incluindo estudos mais detalhados dos organismos das frações menores do plâncton. A preocupação com a queda da biodiversidade, observada principalmente a partir da década de 80 (NATIONAL SCIENCE FOUNDATION, 1989), levou a comunidade científica a valorizar novamente a taxonomia, ao mesmo tempo em que os estudos sobre o fitoplâncton passaram a vivenciar uma verdadeira transição entre trabalhos puramente funcionais ou estruturais e trabalhos que procuram unir a estrutura e função destes organismos (p.e., MARGALEF, 1978a; REYNOLDS, 1988; FOGG, 1991).

A biomassa (em termos de carbono) é uma das mais importantes medidas necessárias para definir ecossistemas planctônicos (VERITY et al., 1992), possibilitando

¹ É citado por Fogg (1990) mas não consta na lista de referências do artigo.

² LOHMANN, H. Über das nannoplankton und die Zentrifugierung kleinster Wasserproben zur Gewinnung desselben in lebendem Zustande. *Int. Rev. Gesamten Hydrobiol. Hydrogr.*, 4: 1-38, 1911.

o estudo da relação de transferência de energia através dos níveis tróficos. A estimativa da biomassa autotrófica a partir do biovolume celular (SMAYDA, 1978) é um método laborioso, mas apresenta uma vantagem sobre os métodos que geram resultados rápidos (p.e., dosagem de clorofila por espectrofotometria ou fluorimetria, citometria de fluxo e dosagem de carbono; BUTTERWICK et al., 1982), que é a possibilidade de avaliar taxonomicamente os organismos. A biomassa autotrófica, apesar de constituir uma medida estática e estrutural, tem caráter pré-funcional, uma vez que pode ser utilizada em modelagem de cadeia trófica.

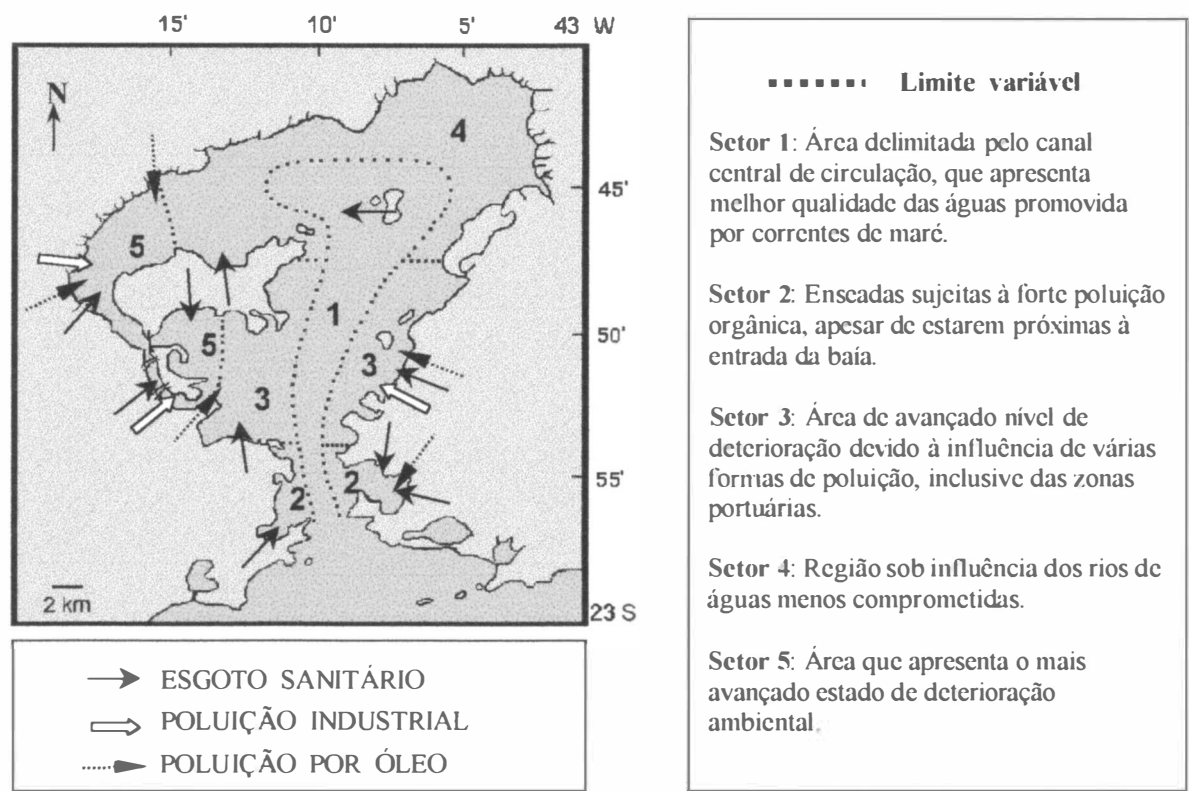
Para que a estimativa da biomassa autotrófica seja precisa, é necessário separar os organismos autotróficos dos heterotróficos classicamente contemplados nos estudos de estrutura da comunidade fitoplanctônica. A distinção dos componentes auto- dos heterotróficos pode ser feita através do uso da técnica de epifluorescência, que evidencia os autótrofos pela autofluorescência da clorofila ou, no caso das cianobactérias, das ficobiliproteínas (fícoeritrina e ficocianina) (BOOTH, 1987). A microscopia de epifluorescência passou a ser utilizada no estudo do fitoplâncton a partir dos anos 50 e mais fortemente na década de 70 (WOOD, 1955; BROCK, 1978; WILDE e FLIERMANS, 1979; DAVIS e SIEBURTH, 1982). No Brasil, os trabalhos que envolvem esta técnica aplicada a ambientes marinhos iniciaram na década de 80 e, em sua maioria, são voltados para o estudo do pico e nanoplâncton (MESQUITA e PEREZ, 1985; ABREU et al., 1992; MESQUITA, 1993; ABREU, 1998; ABREU e ODEBRECHT, 1998; CUPELO, 2000). Apenas RIBEIRO (1996) e SANTOS (1999) fizeram a distinção do microfitoplâncton autotrófico.

1.2. Baía de Guanabara e o Fitoplâncton

A baía de Guanabara é um estuário tropical, localizado na costa do Rio de Janeiro (sudeste do Brasil), que vem sofrendo um processo de eutrofização acelerado nas últimas 3 décadas devido à crescente ocupação humana em seu entorno. Seu caráter

estuarino é comprovado pelo gradiente de salinidade decrescente da entrada (32 a 37 S) para seu interior (13 a 27 S) (MAYR et al., 1989). Os focos de poluição desigualmente distribuídos e a dinâmica de circulação de suas águas fazem com que a baía de Guanabara apresente uma grande heterogeneidade ambiental que permite a sua divisão em cinco setores de qualidade de água distintos (Figura 1.1).

FIGURA 1.1 - BAÍA DE GUANABARA, RJ: SETORES COM DIFERENTES QUALIDADES DE ÁGUA DEVIDO À DISTRIBUIÇÃO IRREGULAR DOS FOCOS DE POLUIÇÃO E DINÂMICA DE CIRCULAÇÃO



FONTE: MAYR et al. (1989) modificado com dados de JICA (1993)

Os primórdios das pesquisas sobre o fitoplâncton da baía de Guanabara datam do início do século XX com estudos que enfatizaram aspectos da estrutura da comunidade

através de levantamentos qualitativos (FARIA, 1914; FARIA e CUNHA, 1917; OLIVEIRA, 1950; KRAU, 1958; OLIVEIRA, 1962; BALECH e SOARES, 1966; OLIVEIRA et al., 1971), assim como estudos de caráter quali e quantitativos (BARTH, 1972; SOARES et al., 1981; SOUZA et al., 1983; SEVRIN-REYSSAC et al., 1979; SCHUTZE et al., 1989; VILLAC, 1990; VALLIN, 1995; BARBOZA, 1997), dando maior ênfase à fração do microfitoplâncton. Estes estudos revelaram que o fitoplâncton reflete a heterogeneidade espacial da baía e apresenta densidades características de estuários com intensa poluição orgânica. É composto por uma flora bastante complexa e diversificada, com representantes de várias classes taxonômicas como Bacillariophyceae (diatomáceas), Dinophyceae (dinoflagelados), Chrysophyceae (silicoflagelados), Prasinophyceae, Cryptophyceae, Euglenophyceae e Cyanophyceae (cianofíceas/cianobactérias).

Recentemente, um estudo de caso realizado na baía de Guanabara abordou aspectos estruturais e pré-funcionais do fitoplâncton (TENENBAUM et al., 2001). O estudo da biomassa em conjunto com a taxonomia se mostrou importante para a fração do microfitoplâncton, pois foram obtidas diferentes biomassas autotróficas de acordo com a composição taxonômica, mesmo em condições de densidades celulares semelhantes. Quando os autótrofos eram compostos basicamente de diatomáceas, as biomassas autotróficas absolutas e a razão auto:hetero eram menores que em situações de co-dominância de diatomáceas e flagelados. As diatomáceas apresentam menor volume plasmático que os demais grupos taxonômicos, pois possuem grande vacúolo central que contém baixo volume nutricional (STRATHMAN, 1967).

1.3. Enfoque, Objetivos e Hipóteses deste Estudo

Este trabalho aborda as variações das frações do nano- e microfitoplâncton da baía de Guanabara, sob os aspectos estruturais (composição e abundância) e pré-funcionais (proporção de auto e heterótrofos e biomassa), mostrando suas tendências espaciais e temporais. Amostras coletadas semanalmente durante um período de 2 anos e

meio em 2 pontos com qualidades de águas distintas, localizados no interior (setor 5) e na entrada da baía (setor 2 - oeste), possibilitaram verificar a dinâmica dessas variações em meso (semanal) e macro (sazonal, interanual) escalas, de acordo com os gradientes de poluição e salinidade. Os resultados desta pesquisa estão apresentados em 3 capítulos:

- Capítulo 3 - Microfitoplâncton como indicador de estado trófico na baía de Guanabara;
- Capítulo 4 - Variações temporais do microfitoplâncton da baía de Guanabara em média e larga escalas;
- Capítulo 5 - Variações espaciais e temporais do nanoplâncton e das bactérias filamentosas auto- e heterotróficos da baía de Guanabara.

O Capítulo 3 trata dos principais aspectos da dinâmica espacial do microfitoplâncton da baía de Guanabara, estabelecendo uma definição do estado trófico dos pontos estudados nos anos de 1998, 1999 e 2000 a partir do índice de HAKANSON (1994).

Diversos conceitos de eutrofização têm sido propostos pela literatura. O conceito adotado neste estudo foi o de NIXON (1995) que define eutrofização como “o processo de incremento de matéria orgânica no ecossistema”, causado por alterações no tempo de residência da água, alta turbidez, redução da herbivoria, e, principalmente, aumento de nutrientes no meio. Suas conseqüências são modificações na estrutura da comunidade, decréscimo do oxigênio dissolvido, mortandade de organismos e alteração do estado trófico. Os primeiros sistemas de classificação do estado trófico de ambientes aquáticos foram estabelecidos na década de 60 para a Limnologia (VOLLENWEIDER, 1968), enquanto que em ambientes marinhos o interesse nessa linha de estudo se iniciou nos anos 90 (SMITH, 1998). Os principais parâmetros de classificação utilizados no mar são nitrogênio total e inorgânico, clorofila *a* e turbidez. Porém, as modificações nos aspectos estruturais e funcionais dos organismos podem constituir critérios adicionais na classificação do estado trófico (HUSZAR et al., 1998).

O objetivo deste segundo capítulo é realizar um estudo comparativo dos aspectos estruturais e pré-funcionais do microfitoplâncton ($>20\mu\text{m}$) entre dois pontos com diferentes graus de poluição orgânica a fim de testar as seguintes hipóteses:

1. os pontos selecionados apresentam estados tróficos distintos que refletem diferenças nos aspectos estruturais e pré-funcionais do microfitoplâncton;
2. o conhecimento atual sobre a contribuição quantitativa do microfitoplâncton da baía é um dado superestimado por incluir a fração heterotrófica.

No Capítulo 4, são contempladas as variações sazonais, interanuais, e de meso escala do microfitoplâncton autotrófico durante os anos de 1998, 1999 (anos com ocorrência de “La Niña”) e 2000 (ano climaticamente normal).

Para detectar as variações temporais do fitoplâncton marinho de acordo com a hidrologia local é necessário adequar a escala de coleta das amostras à escala de ocorrência dos fenômenos oceanográficos de interesse (MARGALEF, 1978b). Em ambientes estuarinos tropicais, o regime do fluxo dos rios, regulado pelas chuvas, é o principal fator atuante na sazonalidade do fitoplâncton (LEHMAN e SMITH, 1991). As variações interanuais e interdecadais têm sido associadas às alterações climáticas globais causadas pelos fenômenos “El Niño” e “La Niña”, que implicam em modificações no regime de chuvas e/ou na irradiância (WELLS et al., 1996). As variações de pequena e média escalas do fitoplâncton estuarino estão intimamente associadas às flutuações de maré (KAMYKOWSKI, 1974; CLOERN, 1991) e eventuais alterações meteorológicas como ocorrência de frentes frias (ABBOUD-ABI SAAB, 1992).

As variações temporais do fitoplâncton da baía de Guanabara, tanto por eventos sazonais como por maré, foram descritas através de aspectos estruturais (VILLAC et al., 1991; SCHUTZE et al., 1989; SEVRIN-REYSSAC et al., 1979). O objetivo deste capítulo é contribuir para o conhecimento das variações sazonais, interanuais e de meso escala do microfitoplâncton ($> 20\mu\text{m}$) da baía de Guanabara, considerando além dos

caracteres estruturais, a biomassa autotrófica, em termos de carbono da base da cadeia alimentar, como um aspecto pré-funcional. As hipóteses testadas neste capítulo são:

1. os pontos selecionados apresentam mesma tendência sazonal;
2. o ano de 2000 apresentará tendência sazonal distinta dos anos de 1998 e 1999, atingidos pelo fenômeno “La Niña”;
3. o ponto Ramos apresenta as maiores variações de meso escala.

No Capítulo 5, sobre o nanoplâncton e bactérias filamentosas, variações espaciais e temporais são descritas para um ciclo anual (ano de 2000), abordando aspectos estruturais e pré-funcionais.

O nanoplâncton possui grande representatividade em termos de densidade e de produtividade primária do fitoplâncton marinho (50 - 100%), tanto em regiões estuarinas (McCARTHY et al., 1974; DAVIS e SIEBURTH, 1982), quanto marinho-costeiras (GAETA et al., 1995) e oceânicas (MALONE, 1971). Na baía de Guanabara, estudos pretéritos considerando aspectos estruturais da comunidade mostraram que este grupo contribui com densidades superiores a 10^6 cel.L⁻¹, e é composto por pequenas diatomáceas e dinoflagelados, prasinofíceas, clorofíceas, criptofíceas e cianobactérias cocóides (SEVRIN-REYSSAC et al., 1979; VILLAC, 1990). Estes estudos mostraram ainda a grande importância do grupo das cianobactérias filamentosas para o fitoplâncton da baía de Guanabara, que contribuem com densidades entre 10^6 e 10^8 fil.L⁻¹. A dificuldade em identificar os flagelados nanoplanctônicos, formas frágeis e de difícil preservação, e a ausência de estudos que diferenciem as formas nanoplanctônicas e filamentosas autotróficas, tornam estes grupos ainda pouco conhecidos na baía de Guanabara. O objetivo deste capítulo é realizar um estudo comparativo da variação espacial e temporal do nanoplâncton e bactérias filamentosas durante um ciclo anual em 2 pontos com estados tróficos distintos, considerando os aspectos estruturais e pré-funcionais da comunidade. As hipóteses deste trabalho são:

1. diferentes condições tróficas e de salinidade dos pontos selecionados refletem diferenças estruturais e pré-funcionais do nanoplâncton e bactérias filamentosas;
2. os pontos selecionados apresentam mesma tendência sazonal;
3. o conhecimento atual sobre a contribuição quantitativa do nanofitoplâncton e cianobactérias filamentosas da baía de Guanabara é superestimado por incluir a fração heterotrófica.

A descrição detalhada da metodologia adotada neste estudo do nano- e microfitoplâncton da baía de Guanabara se encontra no capítulo 2. No Apêndice 1 são listados os táxons auto- e heterotróficos do microfitoplâncton encontrados em cada estação, mencionando sua contribuição em termos de ocorrência e densidade.

Esta dissertação constitui uma contribuição para o entendimento da dinâmica espacial e temporal do nano- e microfitoplâncton da baía de Guanabara e, através da determinação de aspectos pré-funcionais adicionais à estrutura da comunidade, objetiva fornecer informações para a compreensão da teia trófica deste ambiente seriamente impactado pela ocupação humana em seu entorno. Destaca-se o caráter inovador deste projeto ao diferenciar o nano- e microplâncton autotróficos de uma região costeira brasileira.

Este estudo faz parte do PI “Ação antrópica na biota da Baía de Guanabara-RJ: efeitos sobre a estrutura e a função do sistema planctônico”, o qual está inserido no projeto “Impactos antrópicos em ambientes aquáticos: alterações na estrutura e funcionamento - Propostas mitigadoras” do Programa de Apoio a Núcleos de Excelência (PRONEX).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABBOUD-ABI SAAB, M. Day-to-day variation in phytoplankton assemblages during spring blooming in a fixed stations along the Lebanese coastline. **Journal of Plankton Research**, v. 14, n. 8, p. 1099-1115, 1992.

ABREU, P.C. Ambientes marinhos e sua biota - bacterioplâncton. In: SEELIGER, U.; ODEBRECHT, C.; CASTELLO, J.P. (Ed.). **Os Ecossistemas Costeiro e Marinho do Extremo Sul do Brasil**. Rio Grande: Ecoscientia, 1998. p. 116-117.

ABREU, P.C.; BIDDANDA, B.B.; ODEBRECHT, C. Bacterial dynamics of the Patos Lagoon estuary, Southern Brazil (32°S, 52°W): relationship with phytoplankton production and suspended material. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 35, p. 621-635, 1992.

ABREU, P.C.; ODEBRECHT, C. O ambiente e a biota do estuário da Lagoa dos Patos - bactérias e protozooplâncton. In: SEELIGER, U.; ODEBRECHT, C.; CASTELLO, J.P. (Ed.). **Os Ecossistemas Costeiro e Marinho do Extremo Sul do Brasil**. Rio Grande: Ecoscientia, 1998. p. 40-42.

AZAM, F. et al. Ecological role of water-column microbes in the sea. **Marine Ecology Progress Series**, v. 10, p. 257-263, 1983.

BALECH, E.; SOARES, L.O. Dos dinoflagelados de la Baía de Guanabara y proximidades (Brasil). **Neotropica**, v. 12, n. 39, p. 103-109, 1966.

BARBOZA, M.B. **A influência da maré na distribuição do microfitoplâncton na Baía de Guanabara (Rio de Janeiro, RJ)**. Niterói, 1997. 25f. Monografia (Especialização em Biologia Marinha) – Instituto de Biologia, Universidade Federal Fluminense.

BARTH, R. Observações em nano- e ultraplâncton na baía de Guanabara. **Publicação do Instituto de Pesquisas da Marinha**, v. 68, p. 1-10, 1972.

BOOTH, B.C. The use of autofluorescence for analysing oceanic phytoplankton communities. **Botanica Marina**, v. 30, p. 101-108, 1987.

BROCK, T.D. Use of fluorescence microscopy for quantifying phytoplankton, especially filamentous blue-green algae. **Limnology and Oceanography**, v. 23, p. 158-160, 1978.

BUTTERWICK, C.; HEANEY, S.I.; TALLING, J.F. A comparison of eight methods for estimating the biomass and growth of planktonic algae. **British Phycological Journal**, v. 17, p. 69-79, 1982.

CLOERN, J.E. Tidal stirring and phytoplankton bloom dynamics in an estuary. **Journal of Marine Research**, v. 49, p. 203-221, 1991.

CUPELO, A.C.G. **As frações do pico-, nano- e microplâncton na profundidade do máximo de clorofila na costa central do Brasil (13,5° - 23°S)**. São Paulo, 2000. 131f. Dissertação (Mestrado em Oceanografia) - Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo.

DAVIS, P.G.; SIEBURTH, McN. Differentiation of phototrophic and heterotrophic nanoplankton populations in marine waters by epifluorescence microscopy. **Annales du Institute océanographique**, v. 58, n. S, p. 249-260, 1982.

FARIA, J.G. **Um ensaio sobre o plankton, seguido de observações sobre ocorrência de plankton monotono, causando mortandade entre os peixes na Bahia do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro, 1914. 48f. Tese (Livre Docência) - Faculdade de Medicina - Universidade do Brasil.

_____; Cunha, A.M. Estudos sobre o microplankton da Baía do Rio de Janeiro e suas imediações. **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz**, v. 9, n. 1, p. 68-93, 1917.

FENCHEL, T. Marine plankton food chains. **Annals Review Ecology System**, v. 19, p. 19-38, 1988.

FOGG, G.E. Our perceptions of phytoplankton: an historical sketch the first founder's lecture. **Br. phycol. J.**, v. 25, p. 103-115, 1990.

_____. Tansley Review No.30 - The phytoplankton ways of life. **New Phytology**, v. 118, p. 191-232, 1991.

GAETA, S.A. et al. Size-fractionation of primary production and phytoplankton biomass on inshore waters of the Ubatuba region, Brazil. **Publicação especial do Instituto Oceanográfico - USP**, v. 11, p. 153-162, 1995.

HAKANSON, L. A review of effect-dose-sensitivity models for aquatic ecosystems. **Internationale Revue der Gesamten Hydrobiologie**, v. 79, p. 621-667, 1994.

HUSZAR, V.L.M. et al. Phytoplankton species composition is more sensitive than OECD criteria to the trophic status of three Brazilian tropical lakes. **Hydrobiologia**, v. 369/370, p. 59-71, 1998.

JACQUES, G. Numération - Methodes de mesure. In: JACQUES, G. (Ed.). **Phytoplankton - biomasse, production, numération et culture**. Arago: Université Pierre et Marie Curie, 1978. p. 1-19.

JICA. Pollution sources and runoff loads. In: **The study on recuperation of the Guanabara bay ecosystem**. 1993. p. 8.1-8.27.

KAMYKOWSKI, D. Possible interactions between phytoplankton and semidiurnal internal tides. **Journal of Marine Research**, v. 32, n. 1, p. 67-89, 1974.

KRAU, L. Modificações no plâncton da enseada de Inhauma, antes e depois da poluição. **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz**, v. 56, p. 473-476, 1958.

LEHMAN, P.W.; SMITH, R. W. Environmental factors associated with phytoplankton succession for the Sacramento-San Joaquin Delta and Suisan Bay estuary, California. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 32, p. 105-128, 1991.

LUND, J.W.G. A sedimentation technique for counting algae and other organisms. **Hydrobiologia**, v. 3, p. 390-394, 1951.

LUND, J.W.G.; KIPLING, C.; CREN, D. LE. The inverted microscope method of estimating algal numbers and the statistical basis of estimations by counting. **Hydrobiologia**, v. 11, p. 143-170, 1958.

MALONE, T.C. The relative importance of nannoplankton and netplankton as primary producers in the California Current System. **Fishery Bulletin**, v. 69, n. 4, p. 799-820, 1971.

MARGALEF, R. Life-forms of phytoplankton as survival alternatives in an unstable environment. **Oceanologica Acta**, v. 1, n. 4, p. 493-509, 1978 (a).

_____. Sampling design - Some examples. In: SOURNIA, A. (Ed.). **Phytoplankton Manual**. Paris: Page Brothers, 1978 (b). p. 17-31.

MAYR, L.M. et al. Hydrobiological characterization of Guanabara bay. In: MAGOON, O.; NEVES, C. (Ed.). **Coastlines of Brazil**. New York: American Society of Civil Engineers, 1989. p. 124-138.

MCCARTHY, J.J.; TAYLOR, W.R.; LOFTUS, M.E. Significance of nanoplankton in the Chesapeake bay estuary and problems associated with the measurement of nanoplankton productivity. **Marine Biology**, v. 24, p. 7-16, 1974.

MESQUITA, H.S.L.; PEREZ, C.A. Numerical contribution of phytoplankton cells, heterotrophic particles and bacteria to size fractionated POC in the Cananéia estuary (23°S, 45°W), Brazil. **Boletim do Instituto Oceanográfico**, v. 33, n. 1, p. 69-78, 1985.

MESQUITA, H.S.L. Densidade e distribuição do bacterioplâncton nas águas de Ubatuba (23°S, 45°W), Estado de São Paulo. **Boletim do Instituto Oceanográfico**, v. 10, n. p.45-63, 1993.

NATIONAL SCIENCE FOUNDATION. **Loss of biological diversity: a global crisis requiring international solutions**. Washington: 1989.

NEVEUX, J. Biomasse – Pigments chlorophylliens. In: JACQUES, G. (Ed.) **Phytoplankton – biomasse, production, numération et culture**. Arago: Université Pierre et Marie Curie, 1978. p. 21-34.

NIXON, S.W. Coastal marine eutrophication: a definition, social causes, and future concerns. **Ophelia**, v. 41, p. 199-219, 1995.

OLIVEIRA, L. Levantamento biogeográfico da baía de Guanabara. **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz**, v. 48, p. 364-391, 1950.

_____. Águas com predominância de *Eutreptia lanowii* Steuer e *Chlamydomonas reinhardi* Dangeard no plancton, na enseada de Inhaúma, Baía de Guanabara. **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz**, v. 60, n. 1, p. 13-20, 1962.

_____; KRAU, L.; MIRANDA. Plankton poluído da baía de Guanabara com copépodos *Cleptocanthos* e rotíferos *Rotatoria*. **Arquivos do Museu Nacional**, v. 54, p. 55-56, 1971.

PÉRÈS, J.M. **Précis d'oceanographie biologique**. Presses Universitaire de France, 1976.

POMEROY, L.R. The ocean's food web, a changing paradigm. **Bioscience**, v. 24, n. 9, p. 499-504, 1974.

REYNOLDS, C.S. Functional morphology and the adaptative strategies of freshwater phytoplankton. In: SANDGREEN, C.D. (Ed.). **Growth and reproductive strategies of freshwater phytoplankton**. Cambridge: Cambridge University Press, 1988. p. 288-433.

RIBEIRO, S.M.M.S. **Caracterização taxonômica e ecológica das comunidades pico-, nano- e microplânctônica, superficial e profunda, da zona eufótica do Atlântico Sul.** São Paulo, 1996. 155f. Tese (Doutorado em Oceanografia) - Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo.

SANTOS, V.S. **O fitoplâncton da Baía de Guanabara (RJ, Brasil): Microfitoplâncton autotrófico em dois pontos com qualidades de água diferentes.** Rio de Janeiro, 1999. 32f. Monografia (Bacharelado em Biologia Marinha) - Instituto de Biologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

SCHUTZE, M.L.M.; MACHADO, M.C.S.; ZILLMANN, S.M.S. Phytoplankton biomass of Guanabara bay (Rio de Janeiro, Brazil) and adjacent oceanic area: variations from January through July 1979. In: FIGUEIREDO, M.R.C.; CHAO, N.L.; KIRBY-SMITH, W. (Ed.). **Proceedings of International Symposium on utilization of coastal ecosystems: planning, pollution and productivity.** FURG, 1989. p. 309-324.

SEVRIN-REYSSAC, J. et al. Biomasse et production du phytoplancton de la baie de Guanabara (État de Rio de Janeiro, Brésil) et du secteur océanique adjacent. Variations de mai à juillet 1978. **Bulletin du Museum National de Historia Natural**, v. 1, n. B4, p. 329-354, 1979.

SIEBURTH, J.M.; SMETACEK, V.; LENZ, J. Pelagic ecosystem structure: Heterotrophic compartments of the plankton and their relationship to plankton size fractions. **Limnology and Oceanography**, v. 23, n. 6, p. 1256-1263, 1978.

SMAYDA, T.J. From phytoplankters to biomass. In: SOURNIA, A. (Ed.). **Phytoplankton Manual.** Paris: UNESCO, 1978. p. 273-279.

SMITH, V.H. Cultural eutrophication of inland, estuarine, and coastal waters. In: PACE, M.L.; GROFFMAN, P.M. (Ed.). **Successes, limitations and frontiers in ecosystem science.** New York: 1998. p. 7-47.

SOARES, Z.O.; FRANCA, L.B.P.; UTCHITEL, S. Fitoplâncton e fatores abióticos na Baía de Guanabara, Rio de Janeiro - subsídios para o controle de poluição. **Cadernos Feema - Série Congressos**, v. 9/81, p. 30, 1981.

SOUZA, C.A.F. et al. **Relatório Baía de Guanabara.** Rio de Janeiro: FEEMA, 1983. Relatório Técnico.

STRATHMANN, R.R. Estimating the organic carbon content of phytoplankton from cell volume or plasma volume. **Limnology and Oceanography**, v. 12, p. 411-418, 1967.

TENENBAUM, D.R. et al. A new "sight" on microbial plankton ecology: coastal x oceanic system in Brazil. **Oecologia Brasiliensis**, v. IX, p. 133-152, 2001.

UTERMÖHL, H. Perfeccionamento del metodo cuantitativo del fitoplancton. **Asociación Internacional de Limnología Teórica y Aplicada - Comité de metodos limnológicos, comunicación**, v. 9, p. 39, 1958.

VALLIN, M.A. **Influência da maré na variação microfitoplanctônica em área impactada da Baía de Guanabara (Estado do Rio de Janeiro - Brasil)**. Niterói, 1995. 52f. Monografia (Especialização em Biologia Marinha) - Instituto de Biologia, Universidade Federal Fluminense.

VERITY, P.G. et al. Relationships between cell volume and the carbon and nitrogen content of marine photosynthetic nanoplankton. **Limnology and Oceanography**, v. 37, n. 7, p. 1434-1446, 1992.

VILLAC, M.C. **O fitoplâncton como um instrumento de diagnose e monitoramento ambiental: Um estudo de caso da Baía de Guanabara**. Rio de Janeiro, 1990. 193f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Departamento de Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

_____ et al. Sampling strategies proposed to monitor Guanabara bay, RJ, Brasil. In: MAGOON, O.T. et al. (Ed.). **Coastal Zone'91**. New York: American Society of Civil Engineers, 1991.

VOLLENWEIDER, R.A. **Scientific fundamentals of the eutrophication of lakes and flowing waters, with particular reference to nitrogen and phosphorous as factors in eutrophication**. OECD. Paris: 1968.

WELLS, N.C.; GOULD, W.J.; KEMP, A.E.S. The role of ocean circulation in the changing climate. In: SUMMERHAYES, C.P.; THORPE, S.A. (Ed.) **Oceanography - An illustred guide**. Manson Publishing, 1996. p. 41-58.

WILDE, E.W.; FLIERMANS, C.B. Fluorescence microscopy for algal studies. **Transations of the American Microscopy Society**, v. 98, n. 1, p. 96-102, 1979.

WOOD, E.J.F. Fluorescent microscopy in marine microbiology. **Journal du Conseil International de Exploration du Mer**, v. 21, p. 6-7.

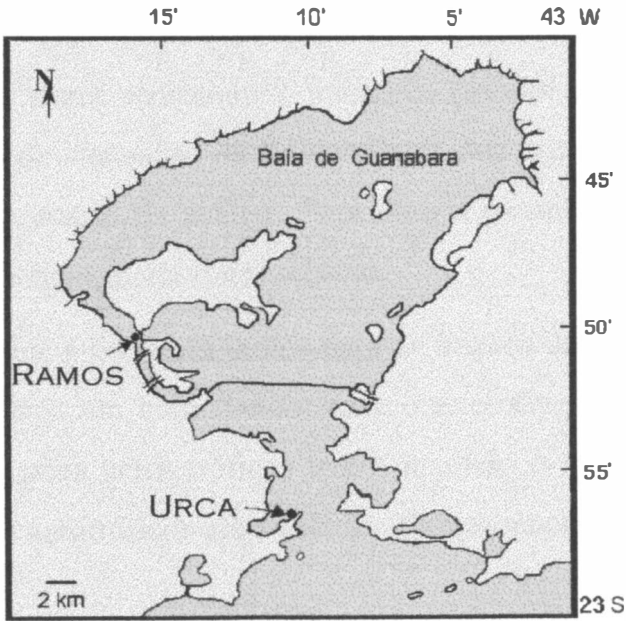
CAPÍTULO 2 – METODOLOGIA³

2.1. Amostragem

A estratégia amostral incluiu coletas semanais entre julho de 1998 e dezembro de 2000, em dois pontos com qualidade de águas e salinidade distintas (Mapa 2.1):

- (1) Urca - Próximo à entrada da baía e com menor grau de poluição orgânica, é influenciado pelas águas mais salinas, transparentes e menos eutrofizadas da região costeira adjacente à entrada da baía;
- (2) Ramos - Próximo à praia de Ramos, onde desembocam rios poluídos e esgoto doméstico, onde aterros sucessivos alteraram profundamente a dinâmica de renovação das águas.

MAPA 2.1 - BAÍA DE GUANABARA (• PONTOS DE COLETA)



³ A formatação dos capítulos 3 a 5 seguiu as normas das respectivas revistas a que serão submetidos. O restante do documento e todas as listas de referências bibliográficas estão de acordo com: UFPR/SIBI. Normas para Apresentação de Documentos Científicos, v. 1-10, 2001.

2.2 Trabalho de Campo

Amostras de água, destinadas à análise quali- e quantitativa, foram coletadas com garrafa de Van Dorn a sub-superfície, colocadas em frascos escuros, fixadas imediatamente com formol tamponado a 2% e mantidas resfriadas durante transporte e armazenamento (BOOTH, 1987, modificado). Para a análise qualitativa do microfitoplâncton, amostras de rede de 20µm de malha foram coletadas também a sub-superfície, colocadas em frascos, fixadas com glutaraldeído a 2% e mantidas no refrigerador.

2.3 Trabalho de Laboratório

2.3.1. Testes Metodológicos

A realização deste estudo, que incluiu a análise do fitoplâncton em microscopia de fluorescência, levou à necessidade da realização de testes metodológicos para adequação da preservação e contagem das amostras.

a) Fixação e atenuação da fluorescência

Foram realizados testes utilizando 2 fixadores (formol a 2% e glutaraldeído a 2%) para verificar o grau de atenuação da fluorescência dos organismos com relação ao tempo de estocagem e à duração da análise. Para isso, a mesma amostra foi observada semanalmente até a total atenuação da fluorescência.

Ao contrário do que a literatura indica para as frações do pico e nanoplâncton, o glutaraldeído não se mostrou um bom fixador para o microfitoplâncton (p.e., BOOTH, 1987). Apesar dos organismos heterotróficos terem mantido o verde característico pelo menos durante 15 dias, os autotróficos apresentaram fluorescência vermelho-pálida desde o momento da fixação.

O formol foi o fixador adotado, pois permitiu a manutenção da fluorescência, durante um período maior, dos organismos auto e heterotróficos do micropoplâncton. Neste caso, foi observada perda da fluorescência após 20 dias de armazenamento e/ou após 3

horas de exposição à luz, durante a análise da amostra. Assim, as amostras foram analisadas em, no máximo, 20 dias e o tempo de análise não ultrapassou 3 horas de exposição.

b) Quanto à padronização do erro de contagem

A comparação entre os pontos amostrados exigiu uma metodologia de contagem com erro padronizado e otimização do tempo de análise devido à periodicidade das coletas e à atenuação da fluorescência da clorofila ao ser exposta à luz. Para isso foram feitos testes de contagem do microfitoplâncton com 22 pares de amostras coletadas anteriormente ao período de estudo (04/06 a 03/12 de 1997). Foram contadas 150 unidades sedimentadas (1 célula = 1 cadeia de células) para atingir 95% de chance de se encontrar uma espécie que represente 2% da comunidade (SHAW, 1964). As unidades sedimentadas foram contadas até o n desejado (n=150) por 2 metodologias diferentes:

- 1 ou 2 transectos diametrais;
- número variável de campos aleatórios.

Partindo da hipótese (H_0) de que as duas formas de contagem não apresentam diferença significativa, foi feito um teste t: para amostras pareadas⁴ (Tabela 2.1).

TABELA 2.1 - RESULTADO DO TESTE T PARA AMOSTRAS PAREADAS.

	URCA		RAMOS	
	Campos aleatórios	Transectos diametrais	Campos aleatórios	Transectos diametrais
Média (uni.sed./campo)	9	10	11	12
Variância	93,58	112,60	57,16	74,23
Observações (n)	23	23	22	22
Hipótese da diferença de média	0		0	
Grau de liberdade (n - 1)	22		21	
t estatístico	0,380		1,227	
t crítico	1,717		1,721	

⁴ O teste t foi realizado com o software Microsoft Excel, versão 5.0.

A hipótese nula foi aceita (t estatístico $< t$ crítico) para ambos os pontos, ou seja, não há diferença significativa entre as duas formas de contagem. A fim de otimizar o tempo de análise, foi realizada contagem em transectos para amostras com baixas concentrações de organismos (≤ 20 uni.sed./campo) e contagem em campos aleatórios para amostras com altas concentrações de organismos (> 20 uni.sed./campo). O número de campos aleatórios nunca foi inferior a 10.

2.3.2. Contagem e identificação

a) Nanoplâncton e bactérias filamentosas

Alíquotas de 5mL da amostra de garrafa foram incubadas com o fluorocromo DAPI por 15 minutos (PORTER e FEIG, 1980; MARTINUSSEN e THINGSTAD, 1991) e concentradas em membrana preta de policarbonato de $1,0 \mu\text{m}$ com pressão de vácuo máxima de 10 cmHg para evitar a ruptura das células. O excesso de DAPI foi retirado pela passagem no sistema de filtração de água do ambiente pré-filtrada ($0,2 \mu\text{m}$). Os filtros pretos foram então montados em lâmina e lamínula separadas com óleo de imersão e em seguida seladas com esmalte incolor. Foram preparadas lâminas em duplicata, e todo o procedimento foi realizado sob abrigo da luz para a manutenção da autofluorescência dos pigmentos. As lâminas foram armazenadas em refrigerador (4°C) por 48 horas, para evaporação da água restante, e depois congeladas (-20°C) (BOOTH, 1987). A análise das lâminas, preservadas e congeladas no escuro, foi feita em no máximo 12 meses (BOOTH, 1995).

A análise quantitativa e a diferenciação das células autotróficas do nanoplâncton e bactérias filamentosas foram realizadas sob microscópio óptico equipado com epifluorescência (aumento final: 1000x) utilizando 3 filtros: (1) ultra-violeta ($\lambda = 360-390\text{nm}$) para células totais visualizadas através da fluorescência induzida pelo fluorocromo DAPI; (2) azul ($\lambda = 450-490\text{nm}$) para a diferenciação das células autotróficas através da autofluorescência da clorofila e da ficoeritrina; e (3) verde

($\lambda = 515-560\text{nm}$) para diferenciação dos organismos com ficocianina. O número de células heterotróficas foi obtido subtraindo o total de autótrofos do total de células contadas no filtro UV. As células foram diferenciadas e contadas por classes de tamanho (2-4 μm ; 5-7 μm ; 8-10 μm ; 11-13 μm ; 14-16 μm ; 17-19 μm) num número variável de campos aleatórios até um máximo de 400 organismos, para atingir 99% de probabilidade de se encontrar uma espécie que represente 1% da comunidade (SHAW, 1964). Os resultados foram expressos em células por litro.

b) Microfitoplâncton

As análises quali e quantitativa dos organismos do microfitoplâncton foram feitas pelo método de sedimentação (UTERMÖHL, 1958) no escuro, a fim de minimizar a perda da autofluorescência da clorofila dos organismos (BOOTH, 1995). Para o ponto Urca foram sedimentadas alíquotas entre 10 e 50mL e, para o ponto Ramos entre 2 e 10mL, de acordo com a concentração de organismos. A diferenciação das formas autotróficas e heterotróficas foi feita ao microscópio invertido (aumento final: 200x) equipado com uma combinação de iluminação de campo claro, contraste de fase e epifluorescência sob luz azul.

Devido ao grande número de espécies formadoras de cadeias (distribuição agregada), para fins de padronização do erro de contagem, foram considerados apenas unidades sedimentadas ou organismos (uma célula = uma cadeia de células), mas os resultados foram expressos em células por litro. Números variáveis de transectos ou campos aleatórios foram analisados até que fossem contados pelo menos 300 organismos para atingir 95% de probabilidade de se encontrar uma espécie que represente 1% da comunidade (SHAW, 1964). Foram contados, no mínimo, 100 indivíduos da espécie dominante, constituindo erro máximo de 20% (LUND et al., 1958).

Para uma identificação mais precisa das diatomáceas, as amostras de rede foram submetidas a tratamentos específicos com montagem de lâminas permanentes, feitas a

partir de lavagens sucessivas das amostras para a retirada do sal e do fixador e posterior oxidação da matéria orgânica (HASLE e FRYXELL, 1970).

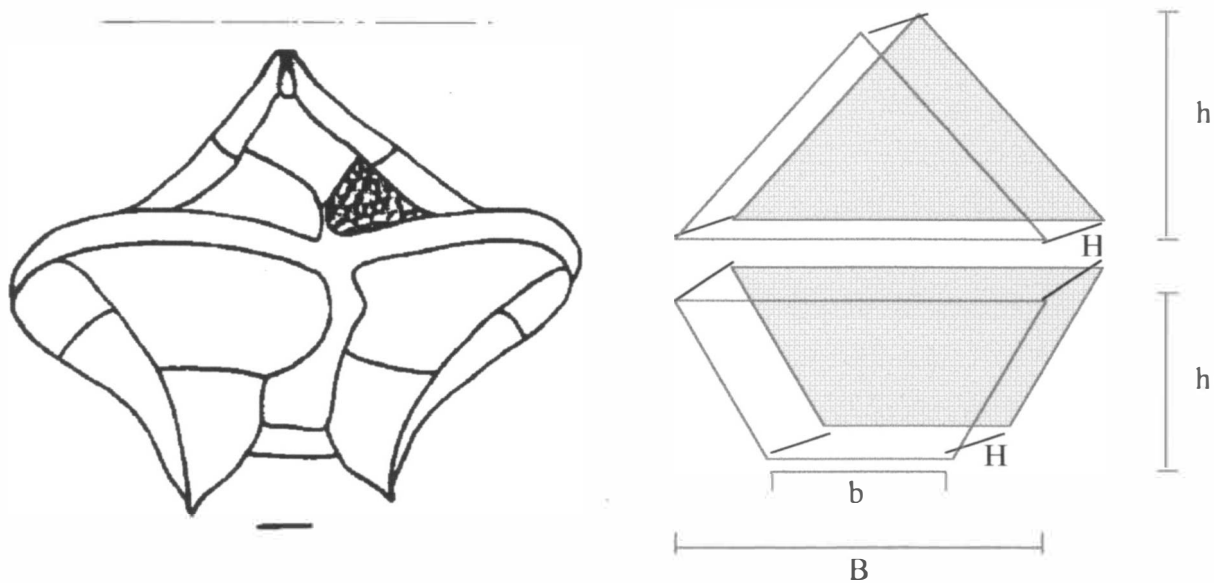
2.3.3. Cálculo da Biomassa

O cálculo da biomassa, em termos de carbono, foi feito a partir do biovolume celular. Durante as contagens, todos os indivíduos encontrados foram medidos segundo as várias dimensões necessárias para o cálculo do biovolume celular. A terceira dimensão foi obtida através de estudos anteriores, efetuados com as próprias amostras, ou a partir da literatura de identificação. Os cálculos de biovolumes celulares foram feitos a partir de exemplos encontrados em EDLER (1979) e em literatura sobre geometria espacial (p.e. FACCHINI, 1996), onde as células são associadas a figuras geométricas (Figura 2.1).

Para as diatomáceas em especial, o cálculo do volume plasmático foi feito descontando-se o volume do seu vacúolo, o qual possui volume nutricional (biomassa), arbitrado, de apenas 10% do volume plasmático total (SMAYDA, 1978). Para se chegar ao volume plasmático das diatomáceas, foi feito o cálculo do volume total da célula e da sua área. Dependendo da razão superfície:volume, foi arbitrada uma espessura de camada citoplasmática diferente (de 1 a 2 μm) pois, quanto maior a célula, maior é seu vacúolo. Os cálculos de área foram feitos utilizando-se exemplos encontrados em literatura sobre geometria analítica (p.e. GIOVANNI e CASTRUCCI, 1985).

Os organismos da fração do nanoplâncton foram associados a formas geométricas mais simples como esfera, elipse e cilindro, variando apenas com relação à classe de tamanho. Já no microfitoplâncton, para 212 amostras analisadas, foram estabelecidas 350 figuras geométricas associadas que correspondem a táxons identificados ou não, caracterizando a grande diversidade de formas encontrada nesta fração do plâncton.

FIGURA 2.1 - *PROTOPERIDINIUM PENTAGONUM*. (A) DESENHO ESQUEMÁTICO (ESCALA = 10µM) E (B) FIGURAS GEOMÉTRICAS ASSOCIADAS. AS LINHAS CORRESPONDEM ÀS MEDIÇÕES FEITAS PARA SE OBTIVER O VOLUME DAS FORMAS GEOMÉTRICAS.



BIOVOLUME (*Protoperidinium pentagonum*) = VOLUME (prisma triangular + trapezóide)

Volume do prisma triangular = $2 \cdot A_b \cdot H$, onde A_b (área da base - triângulo) = $b \cdot h / 2$

b = base do triângulo

h = altura do triângulo

H = altura do prisma (3ª dimensão)

Volume do trapezóide = $h \cdot H \cdot (B + b) / 2$, onde B = base maior

b = base menor

h = altura do trapézio

H = 3ª dimensão

A escolha da equação de conversão do biovolume das células microfitoplanctônicas para biomassa, em termos de carbono, exigiu um outro teste metodológico. Como a literatura propõe várias equações derivadas experimentalmente para a conversão do biovolume em carbono, foi calculada a biomassa dos táxons com algumas equações adequadas a organismos dessa faixa dimensional ($\geq 20 \mu\text{m}$): STRATHMAN (1967), Eppley (1970⁵/74⁶) em SMAYDA (1978) e MONTAGNES et al. (1994), tratando as diatomáceas separadamente. Foi observado que as equações de MONTAGNES et al. (1994) e STRATHMAN (1967) geraram valores bem próximos, enquanto que as de Eppley (1970/74) resultaram em valores discrepantes, principalmente para diatomáceas que necessitam de um tratamento diferenciado em função da presença do vacúolo (Gráfico 2.1). A equação de MONTAGNES et al. (1994) foi escolhida por ser a mais recente e ao mesmo tempo apresentar resultados similares aos encontrados com a de STRATHMAN (1967), pioneiro nesta linha de pesquisa.

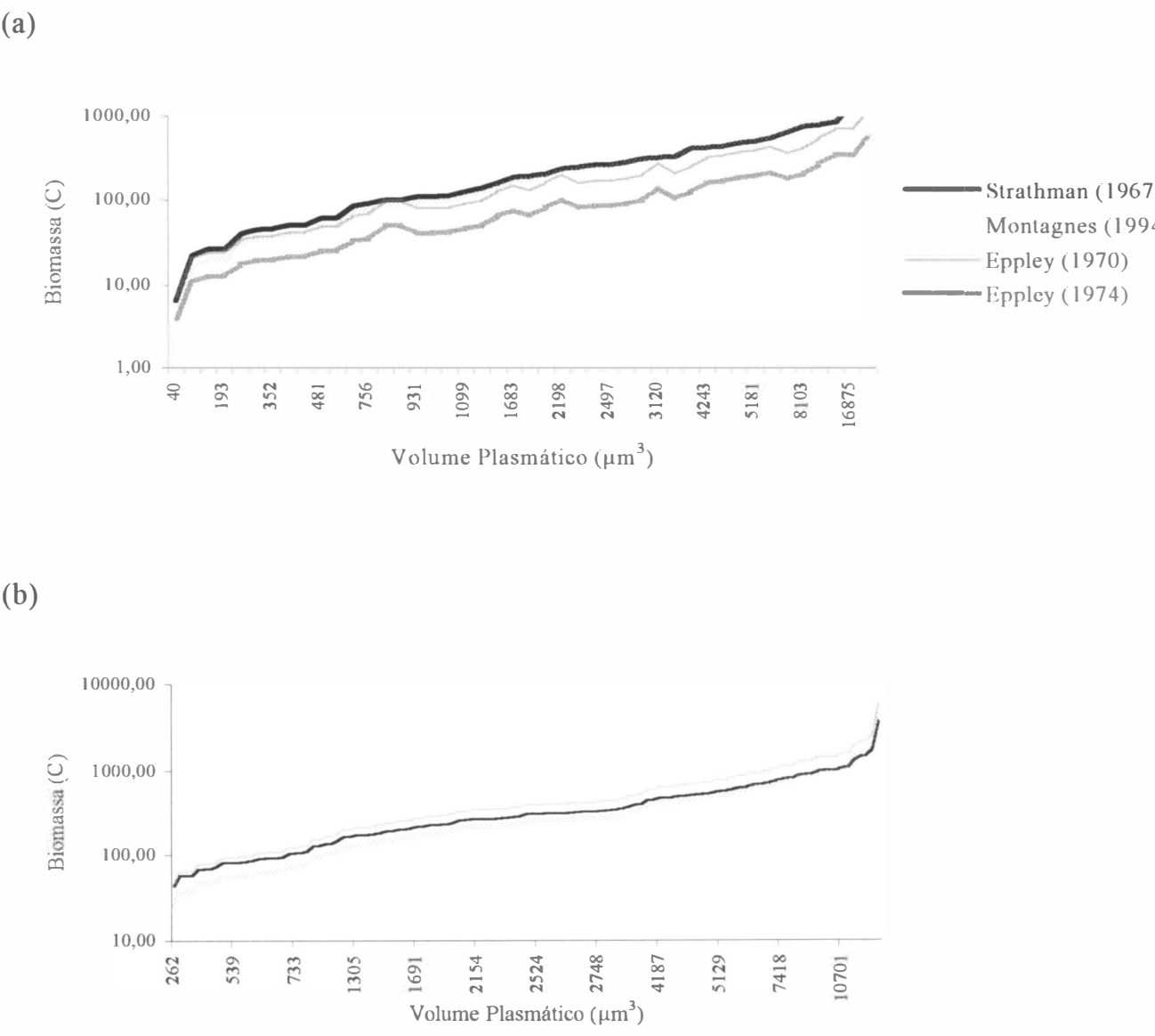
A estimativa da biomassa nanoplanctônica seguiu o trabalho de VERITY *et al.* (1992), que propõe um fator de conversão de biovolume celular para carbono, experimentalmente testado com 13 espécies nanoplanctônicas de 7 classes algais.

Assim, as equações de conversão do biovolume celular (BV, em μm^3) em biomassa (BM, em $\text{pgC} \cdot \mu\text{m}^{-3}$) utilizadas foram $\text{BM} = 0,109 \cdot \text{BV}^{0,991}$ para o microfitoplâncton (MONTAGNES et al., 1994), e $\text{BM} = 0,433 \cdot \text{BV}^{0,863}$ para o nanoplâncton (VERITY et al., 1992).

⁵ EPPLEY, R.W. et al. The ecology of the plankton off La Jolla, California, in the period April through September 1967. In: STRICKLAND, J.D.H. estimates of phytoplankton crop size, growth rate and primary production. **Bull. Scripps Inst. Oceanogr.**, 17: 33-42, 1970.

⁶ EPPLEY, R.W. (in Anon.), 1974 *apud* SMAYDA (1978).

GRÁFICO 2.1 - RELAÇÃO ENTRE A BIOMASSA E O VOLUME PLASMÁTICO PARA AS DIFERENTES EQUAÇÕES DE CONVERSÃO: STRATHMAN (1967), EPPLEY (1970/74) E MONTAGNES ET AL. (1994). (A) DIATOMÁCEAS E (B) DEMAIS CLASSES.



3.4. Tratamento dos Dados

Os resultados obtidos foram apresentados através de valores mínimos e máximos ou da mediana. A média, apesar do grande n amostral (n = 106 por ponto de coleta), não foi representativa das condições naturais, uma vez que a alta variabilidade da densidade e biomassa microplactônicas encontrada em estuários resulta em altos desvios padrões.

Dados físicos e químicos da água foram utilizados como variáveis ecológicas complementares na análise da variação espacial e temporal do microfitoplâncton e para a determinação do estado trófico dos pontos estudados. O estabelecimento do estado trófico foi feito a partir da comparação de médias ou medianas anuais dos parâmetros nitrogênio total e clorofila *a*, segundo o índice de HAKANSON (1994).

A distinção entre os pontos de coleta foi sintetizada através de análises em componentes principais feitas a partir de dados bióticos (abundância, riqueza e diversidade do microfitoplâncton) e abióticos (temperatura, salinidade, maré, oxigênio dissolvido, nutrientes, material particulado em suspensão e matéria orgânica). Foram realizadas ainda correlações *r* de Pearson⁷ entre os parâmetros bióticos e abióticos para explicar tanto as variações espaciais (n = 212) quanto temporais (n = 106).

A determinação dos táxons freqüentes, constantes e abundantes seguiu LOBO e LEIGHTON (1986), que considera freqüentes os táxons com ocorrência entre 50% e 80%, constantes os com ocorrência maior que 80% e abundantes os com densidade maior que a densidade média do total de organismos considerados no cálculo. A diversidade do microfitoplâncton foi calculada a partir do Índice de Shannon-Winner (H)

$$H = - \sum_{i=1}^S n_i / N \cdot \log_2 (n_i / N)$$

onde *n_i* é igual ao número de células da espécie *i*, *N* é igual ao número total de células da amostra e *S* é igual ao número de espécies (FRONTIER, 1986).

⁷ As correlações *r* de Pearson foram calculadas no software Microsoft Excel 2000.

Para detectar anomalias da biomassa dos grupos autotróficos, foi estabelecida uma unidade de desvio padrão (UDP) a partir da biomassa em cada amostra (BM), média (X) e desvio padrão (dp) de todo o período, segundo a relação (LEHMAN, 2000):

$$\frac{UDP = BM - X}{dp}$$

Como resultado desta padronização, o valor zero representa a média do período, enquanto os valores positivos são dados acima da média e os negativos abaixo da média.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BOOTH, B.C. The use of autofluorescence for analysing oceanic phytoplankton communities. **Botanica Marina**, v. 30, p.101-108, 1987.

_____. Estimation de la biomassa del plancton autotrofico usando microscopia. In: ALVEAL, K. et al. (Ed.). **Manual de Métodos Ficológicos**. Concepción - Chile: Universidad de Concepción, 1995. p. 187-198.

EDLER, L. Recommendations for marine biological studies in the Baltic Sea - Phytoplankton and chlorophyll. **Baltic Marine Biologists**, v. 5, p. 1-39, 1979.

FACCHINI, W. **Matemática - Volume Único**. São Paulo: Saraiva, 1996.

FRONTIER, S. L'échantillonnage de la diversité spécifique. In: PÉRES, J.M. (Ed.) **Stratégies d'Echantillonnage en Écologie**, Québec: Les Press de L'Université Laval de Québec, 1986. p. 416-436.

GIOVANNI, J.R.; CASTRUCCI, B. **A conquista da Matemática - Teoria aplicada**. São Paulo: FTD, 1985.

HAKANSON, L. A review of effect-dose-sensitivity models for aquatic ecosystems. **Internationale Revue der Gesamten Hydrobiologie**, v. 79, p. 621-667, 1994.

HASLE, G.R.; FRYXELL, G.A. Diatoms: cleaning and mounting for light and electron microscopy. **Transactions of the American Microscopical Society**, v. 89, n. 4, p. 469-474, 1970.

LEHMAN, P.W. The influence of climate on phytoplankton community biomass in San Francisco bay estuary. **Limnology and Oceanography**, v. 45, n. 3, p. 580-590, 2000.

LOBO, E.; LEIGHTON, G. Estructuras comunitarias de las fitocenosis planctonicas de los sistemas de desembocaduras de rios y esteros de la zona central de Chile. **Revista de Biología Marina - Valparaíso**, v. 22, p. 1-29, 1986.

LUND, J.W.G.; KIPLING, C.; CREN, D. LE. The inverted microscope method of estimating algal numbers and the statistical basis of estimations by counting. **Hydrobiologia**, v. 11, p. 143-170, 1958.

MARTINUSSEN, I.; THINGSTAD, T.F. A simple double staining technique for simultaneous quantification of auto- and heterotrophic nano- and picoplankton. **Marine Microbial Food Web**, v. 5, n. 5, p. 5-11, 1991.

MONTAGNES, D.J.S. et al. Estimating carbon, nitrogen, protein, and chlorophyll *a* from volume in marine phytoplankton. **Limnology and Oceanography**, v. 39, n. 5, p. 1044-1060, 1994.

PORTER, K.G.; FEIG, Y.S. The use of DAPI for identifying and counting aquatic microflora. **Limnology and Oceanography**, v. 25, n. 5, p. 943-948, 1980.

SHAW, A.B. **Time in stratigraphy**. New York; San Francisco; Toronto; London: McGraw-Hill Book Company, 1964.

SMAYDA, T.J. From phytoplankters to biomass. In: SOURNIA, A. (Ed.). **Phytoplankton Manual**. Paris: UNESCO, 1978. p. 273-279.

STRATHMANN, R.R. Estimating the organic carbon content of phytoplankton from cell volume or plasma volume. **Limnology and Oceanography**, v. 12, p. 411-418, 1967.

UTERMÖHL, H. Perfeccionamiento del metodo cuantitativo del fitoplancton. **Asociación Internacional de Limnología Teórica y Aplicada - Comité de metodos limnológicos, comunicación**, v. 9, p. 39, 1958.

VERITY, P.G. et al. Relationships between cell volume and the carbon and nitrogen content of marine photosynthetic nanoplankton. **Limnology and Oceanography**, v. 37, n. 7, p. 1434-1446, 1992.

CAPÍTULO 3 - Microfitoplâncton como indicador de estado trófico na baía de Guanabara⁸

Viviane Severiano dos Santos; Maria Célia Villac and Rodolfo Paranhos

Abstract

This study presents the space variations on the microphytoplankton populations and on the hydrology and water quality of Guanabara Bay, Brazil, a tropical estuary subjected to large loads of domestic and industrial waste. It was based on the comparison of two contrasting sampling sites: (1) Urca, close to the entrance to the bay, represents a less polluted site due to the contribution of more saline (30-35S), cleaner and clearer coastal water; and (2) Ramos, in the inner-reaches of the bay, which is less saline (17-31S) and more polluted due to the proximity to rivers and waste outfalls. Weekly samples were taken between July 1998 and December 2000. The microphytoplankton ($>20\mu\text{m}$) was analysed not only in terms of its structure (species composition and cell density), but also considering the differentiation between auto and heterotrophs in terms of their biomass (a pre-functional approach). According to Hakanson's 1994 classification of trophic states for marine systems, our sampling sites presented different trophic states based on total nitrogen values: Urca was meso-eutrophic and Ramos was hypertrophic. The microphytoplankton reflected well these trophic states. Cell density of autotrophs was one order of magnitude higher in Ramos than in Urca (medians: 10^6 and 10^5 cells.L⁻¹, respectively); the same was true for the heterotrophs. At Urca, the autotroph community was more diverse (median: 2.43 bits.cell⁻¹), mostly composed of small (ca. 20 μm) and larger ($>30\mu\text{m}$) diatoms, several of them chain-forming species. At Ramos, only small diatoms were found in co-dominance with euglenophytes, leading to a lower diversity (median: 1.68 bits.cel⁻¹). Autotroph abundance in terms of biomass (medians: 10 $\mu\text{gC.L}^{-1}$ for Urca and 100 $\mu\text{gC.L}^{-1}$ for Ramos) presented

⁸ A ser submetido à revista *Hydrobiologia*.

the same overall trends found for cell density. Both abundance measures showed a significant positive correlation with nutrient concentrations, but correlation was stronger when biomass data was used, showing that cell density alone can reveal a misleading scenario when attempts to understand the factors that influence phytoplankton dynamics are made. The microphytoplankton and total nitrogen were good indicators of the distinct trophic states found in the bay, but the classification according to chlorophyll *a* levels considered both sites as hypertrophic. Hakanson's index for chlorophyll *a* was based on data of coastal areas from temperate regions, which takes into account very narrow ranges for each trophic category. Since Guanabara Bay is a tropical estuary, contradictory results in the use of this classification are not unexpected. A reviewed classification, at least for chlorophyll *a* data, is called for, in order to better represent the characteristics of highly variable environments of tropical systems.

Keywords: microphytoplankton; eutrofication; trophic state; tropical estuary; Guanabara Bay

Introduction

The ever-growing world population has subjected several water bodies to large inputs of man-generated nutrients, mostly due to agriculture and domestic waste. In many cases, this has triggered a scenario of eutrophication, with unwanted consequences to the quality of the water. The need to recover some of the original uses of these water bodies, such as recreation and water supply, led to an increase in concern with the development of eutrophication controlling measures (Vollenweider & Kerekes, 1980).

A sole concept for eutrophication is a matter of debate, because the process is often confused with its causes and/or consequences. An operational definition of eutrophication is therefore called for, and that of Nixon (1995) is adopted here: "eutrophication is an increase in the rate of supply of organic matter to an ecosystem". This process can be caused by changes in the residence time of the water, high turbidity, decrease in grazing

rates, and, most importantly, the increase in nutrient input. Some of the consequences can be changes in the community structure, decrease in dissolved oxygen, death of organisms and change in trophic state.

Several classifications of trophic state have been established for freshwater systems since the 60's (Vollenweider, 1968), and for the marine environment since the 90's (Hakanson, 1994; Nixon, 1995; Smith, 1998). The main parameters used for seawater are nitrogen (total and inorganic), chlorophyll *a*, and turbidity. Changes in the structural and functional aspects of the aquatic communities have also been used as an additional criteria in the understanding of trophic states (e.g., Katoh, 1991; Huszar *et al.*, 1998). A short life cycle renders phytoplankton good indicators of water quality, especially the microphytoplankton (organisms > 20µm) because of their greater variability in morphology, that reflect a wide range of preferences and tolerances to environmental variations, and easier identification, when compared to organisms of the smaller size fractions, the pico (0,2 – 2 µm) and the nanophytoplankton (2 – 20 µm).

Although cell density is most often used to quantify phytoplankton in community structure studies, if chlorophyll and biovolume are used as additional descriptors, the factors that influence phytoplankton dynamics can be more clearly understood (Jiménez *et al.*, 1987). Because cell size differs between species and for the same species during its cell cycle, biomass expressed as carbon content, calculated from biovolume estimates, can better reflect cellular metabolic processes and thus phytoplankton standing crop (Smayda, 1978). The differentiation of true autotrophs (heterotrophic flagellates excluded) is also key in estimating phytoplankton biomass. Actually, if heterotrophic flagellates are taken into account separately, they can also be used as water quality indicators, especially of oligotrophic or highly polluted waters, as done elsewhere (Gaines & Elbrächter, 1987).

Guanabara Bay, located in the State of Rio de Janeiro, Brazil (Figure 3.1), provides an interesting study case for the understanding of eutrophication, its causes and consequences. It is a tropical estuary subjected to every cause of eutrophication known: waste dilution, high sedimentation rates, man-created landfills that have modified its water circulation pattern, and exclusion of zooplankton species that are sensitive to pollution (Valentin *et al.*, 1999). Our contention is that different parts of the Bay present distinct trophic states, because its estuarine gradient is superimposed by pollution sources that are unevenly distributed.

The phytoplankton community of Guanabara Bay is well known from qualitative (e.g., Faria, 1914; Balech & Soares, 1966) and quali-quantitative studies (e.g., Schutze *et al.*, 1989; Villac *et al.*, 1991) that have focussed on structural aspects of the community, such as the composition, cell density and species diversity. The use of autotroph biomass to estimate phytoplankton, as presented here, can be considered a pre-functional parameter that will enhance the present understanding of phytoplankton dynamics in this environment.

The variations of the microphytoplankton in regard to trophic state will be investigated based on the study of two contrasting sites in the bay, according to salinity and degree of pollution: (1) Urca, close to the entrance to the Bay, represents a less polluted site due to the contribution of more saline (30-35S), cleaner and clearer coastal water; and (2) Ramos, in the inner-reaches of the Bay, which is less saline (17-31S) and more polluted due to the proximity to rivers and waste outfalls, and where landfills have altered water circulation.

Methods

Two sampling sites (Urca and Ramos, Figure 3.1) were visited weekly from July 1998 to December 2000. Water samples (Van Dorn bottle) were taken from the subsurface, the samples kept refrigerated in dark bottles, and immediately fixed with buffered

formaldehyde (2% final concentration). This procedure (Booth, 1987, modified) was meant for the qualitative and quantitative analysis of autotrophs. Additional information on species composition was achieved with samples from surface net tows (20µm mesh) that were preserved with glutaraldehyde (2% final concentration).

The phytoplankton was analyzed by the settling technique (Utermöhl, 1958) in the dark to counteract the loss of chlorophyll fluorescence (Booth, 1995). The volume of the aliquot settled varied according to cell concentration: 10-50 mL for site Urca and 2-5 mL for site Ramos. Counting and differentiation between autotrophs and heterotrophs were done with a combination of bright field, phase contrast and epifluorescence (blue excitation) illuminations, at 200x final magnification.

Preliminary tests indicated that the counting procedure could vary as long as the number of settling units (a single cell or a chain of cells) counted remained the same, in this case, at least 300 units to achieve 95% probability of finding a species that comprised 1% of the community (Shaw, 1964); at least 100 cells of the dominant species were counted, which gives a counting error of 20 % (Lund *et al.*, 1958). Therefore, transects could be done for less concentrated samples (≤ 20 units per field of view), while random fields could be used for more concentrated samples provided that a minimum of 10 fields were taken into account. Considering the high sampling frequency (weekly) used and the fading of the autofluorescence of the cells (ca. 30 days), this counting strategy allowed the analysis to be carried out in a timely manner.

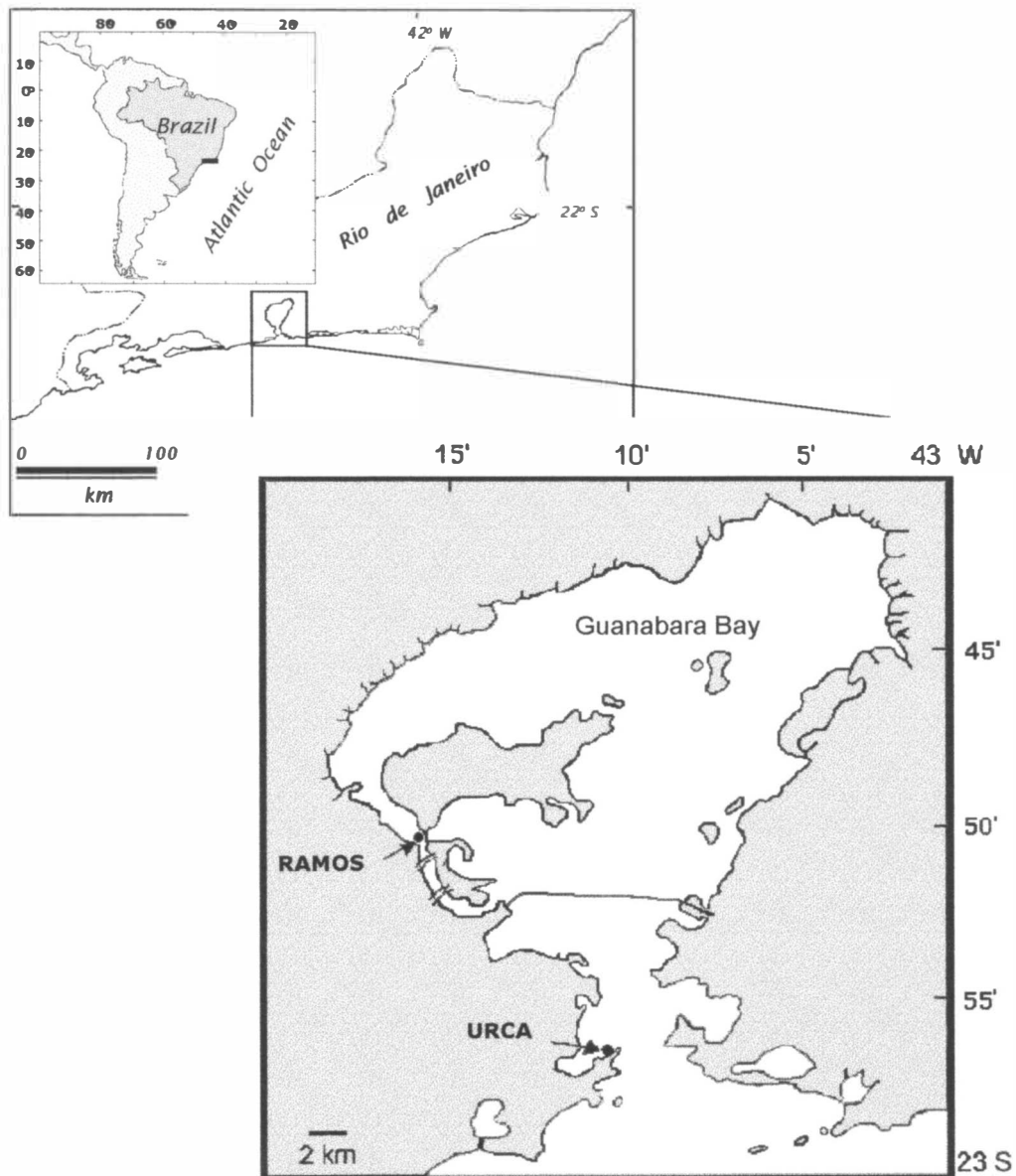


Figure 3.1. Guanabara Bay, Brazil, showing site Urca and site Ramos, that were visited weekly from July 1998 to December 2000.

Diatoms were better identified on selected net samples that were cleaned of organic matter (Hasle & Fryxell, 1970); permanent slides were prepared and studied with light and scanning electron microscopy. The identification of some flagellates was done on live samples. Biomass was estimated from biovolume (Edler, 1979). For diatoms, the volume of the vacuole was subtracted from total biovolume (Smayda, 1978). The conversion of biovolume (BV, in μm^3) to biomass (BM, in pgC) was $\text{BM} = 0,109.\text{BV}^{0,991}$ (Montagnes *et al.*, 1994).

Trophic state was established based on Hakanson 1994’s classification for marine systems, which is based on total nitrogen and chlorophyll *a* (Table 3.1). It is recommended that trophic state be established from annual mean values (or medians) of each of these parameters to exclude changes in trophic state due to seasonal variabilities. Changes in trophic state with time (interannual variations) can thus be detected. Total nitrogen was analysed only for 1999 and 2000, by alkaline persulfate oxidation (Grasshoff *et al.*, 1983). Chlorophyll *a* was analysed by spectrophotometry (Parsons *et al.*, 1984; Paranhos, 1996) for the whole study period. For Guanabara Bay, trophic state was established based on median values. Despite the use of a large data set (n=106 samples per sampling site), average values of phytoplankton data in estuarine areas are associated with high standard deviations, so that the median is more representative of average conditions.

Table 3.1. Classification of trophic states for marine systems according to Hakanson (1994).

Trophic State	Total Nitrogen (μM)	Chlorophyll <i>a</i> ($\mu\text{g.L}^{-1}$)
Oligotrophic	< 18	< 1
Mesotrophic	18 – 25	1 – 3
Eutrophic	25 – 30	3 – 5
Hypertrophic	> 30	> 5

Physical and water quality parameters (temperature, salinity, tide, dissolved oxygen, nutrients, suspended particulate matter, and organic matter) were used to help in the

interpretation of the phytoplankton data. Abiotic and biotic data were analysed using parametric statistic (correlation - r Pearson) and multivariate technique (principal component analysis - PCA), using softwares Microsoft Excel 2000 and Statistica 6.0, respectively. Species diversity was calculated by the Shannon-Winner index (Frontier, 1986).

Results

Trophic State and Overall Trends

In terms of total nitrogen, site Urca was considered eutrophic in 1999 (26.6 μM) and mesotrophic in 2000 (23.6 μM), while site Ramos was classified as hypertrophic in both years (196.8 μM and 169.6 μM , respectively). In terms of chlorophyll *a*, both sites were classified as hypertrophic, although site Urca showed values markedly lower than site Ramos (Urca: 8.7 $\mu\text{g.L}^{-1}$ to 12.4 $\mu\text{g.L}^{-1}$; Ramos: 72.8 $\mu\text{g.L}^{-1}$ to 123.0 $\mu\text{g.L}^{-1}$).

Ramos presented higher concentrations of organic matter and suspended particulate matter, and lower salinities and dissolved oxygen than Urca (Table 3.2). In terms of nutrients, both sites presented high concentrations of ammonia and silicate. Low concentrations of phosphate were found at Urca (median = 1.2 μM), while the same were found for nitrate at Ramos (median = 0 μM). Eventually, during the end of spring and in the summer, occurred low concentrations of all nutrients at Urca, and phosphate e nitrate at Ramos (< 1 μM).

Total cell density and biomass were one order of magnitude higher in Ramos (Figure 3.2); the same trend was observed when autotrophs or heterotrophs were considered (Table 3.2). Overall tendencies were similar, wheather cell density or biomass were used, except for a few cases when the relative proportion of auto to heterotrophs revealed a different scenario (Figure 3.3), especially when data was arranged by taxonomic class of

autotrophs (Figure 3.4). In terms of cell density, contributions of heterotrophs higher than 18% of the total (Figure 3.3a and 3.3b) occurred 14 times at site Ramos, but only 5 times at site Urca (April, May and December 1999; March and October 2000). The relative proportion of heterotrophs was slightly higher when expressed in terms of biomass. As for the autotrophic components, the relative importance of euglenophytes and dinoflagellates varied: in terms of cell density, euglenophytes were more representative; in terms of biomass, dinoflagellates were more important. Total biomass of autotrophs showed positive correlations with ammonia ($r = 0.72$), total phosphorus ($r = 0.78$), phosphate ($r = 0.80$), silicate ($r = 0.94$), and N:P ratio ($r = 0.66$), all correlations with a higher level of significance than when cell density values were used.

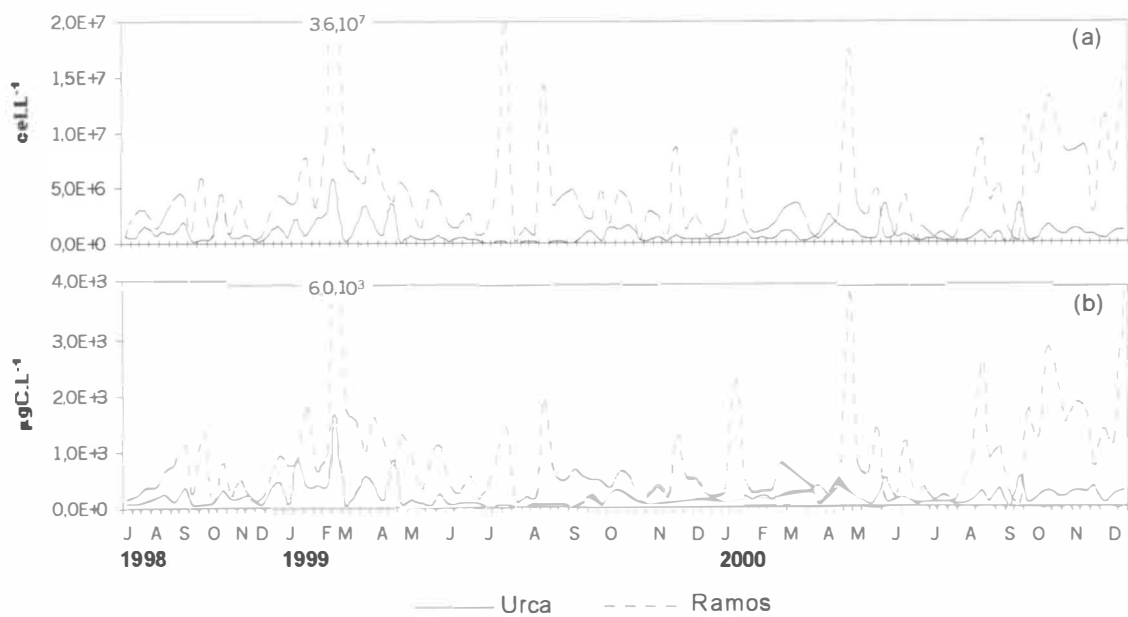


Figure 3.2. Abundance of the microphytoplankton from July 1998 to December 2000, differentiating the contributions of auto and heterotrophs at both sampling sites, Urca and Ramos: (a) cell density and (b) biomass.

Table 3.2. Data for site Urca and site Ramos. Minimum, maximum, mean, standard deviation and median values of the following variables are displayed: salinity, dissolved oxygen (mg.L⁻¹), dissolved organic matter (mg.L⁻¹), suspended particulate matter (mg.L⁻¹), nutrients (μM), diversity of autotrophs (bits.cell⁻¹), number of taxa of auto and heterotrophs, and cell density (cell.L⁻¹) and biomass (μgC.L⁻¹) of auto and heterotrophs.

Sites	Parameters	Minimum	Maximum	Mean	Standard deviation	Median
Urca	Salinity	30.0	35.2	33.1	1.3	33.4
	Dissolved oxygen	0.18	6.25	3.28	1.06	3.36
	Dissolved organic matter	0	0.28	0.04	0.03	0.03
	Suspended particulate matter	6.94	60.75	27.95	12.29	24.20
	Ammonia	0	37.49	7.07	5.68	6.56
	Nitrate	0	10.97	3.20	2.30	2.60
	Phosphate	0	2.82	1.21	0.44	1.20
	Silicate	0.52	34.10	10.93	6.63	10.14
	Diversity of autotrophs	0.78	3.61	2.41	0.61	2.43
	Taxa of autotrophs	8	36	22	6	22
	Taxa of heterotrophs	0	8	4	2	4
	Total cell density	5.1,10 ⁴	5.7,10 ⁶	8.8,10 ⁵	9.8,10 ⁵	5.8,10 ⁵
	Density of autotrophs	4.7,10 ⁴	5.5,10 ⁶	8.4,10 ⁵	9.6,10 ⁵	5.1,10 ⁵
	Density of heterotrophs	0	3.8,10 ⁵	3.4,10 ⁴	5.6,10 ⁴	1.3,10 ⁴
	Total Biomass	9	1,673	189	217	128
	Biomass of autotrophs	8	1,572	167	206	94
	Biomass of heterotrophs	0	349	22	46	8
Ramos	Salinity	17.2	30.9	25.8	3.3	26.5
	Dissolved oxygen	0	9.46	2.16	2.19	1.60
	Dissolved organic matter	0	110	1.35	11.65	0.11
	Suspended particulate matter	17	92	45.40	17.35	42.86
	Ammonia	1.44	311.52	101.63	53.14	88.02
	Nitrate	0	3.42	0.29	0.65	0
	Phosphate	0.86	22.5	10.23	4.16	9.60
	Silicate	1.17	109.64	37.17	24.48	31.56
	Diversity of autotrophs	0.17	3.07	1.65	0.71	1.68
	Taxa of autotrophs	4	24	13	4	12
	Taxa of heterotrophs	0	6	3	1	3
	Total cell density	2.8,10 ⁵	3.6,10 ⁷	4.4,10 ⁶	4.9,10 ⁶	3.1,10 ⁶
	Density of autotrophs	2.4,10 ⁵	3.5,10 ⁷	4.2,10 ⁶	4.9,10 ⁶	3.0,10 ⁶
	Density of heterotrophs	0	1.1,10 ⁶	1.9.10 ⁵	2.0.10 ⁵	1.1,10 ⁵
	Total Biomass	27	6,014	841	891	577
	Biomass of autotrophs	27	5,844	769	870	500
	Biomass of heterotrophs	0	377	72	71	53

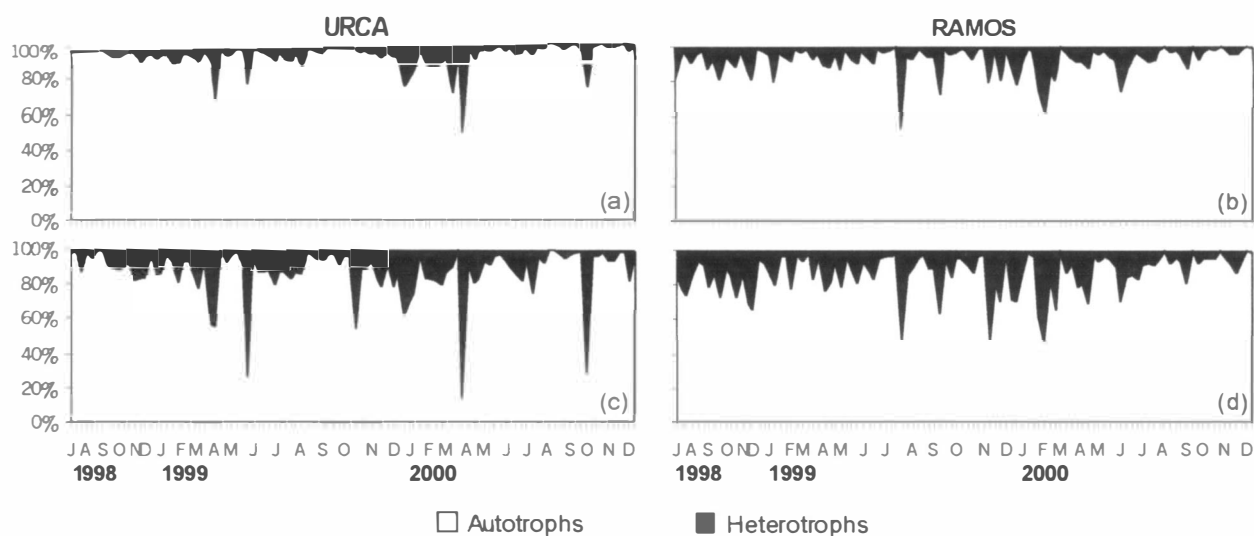


Figure 3.3. Relative proportion of total autotrophs and heterotrophs at Urca and Ramos: (a) and (b) cell density, (c) and (d) biomass.

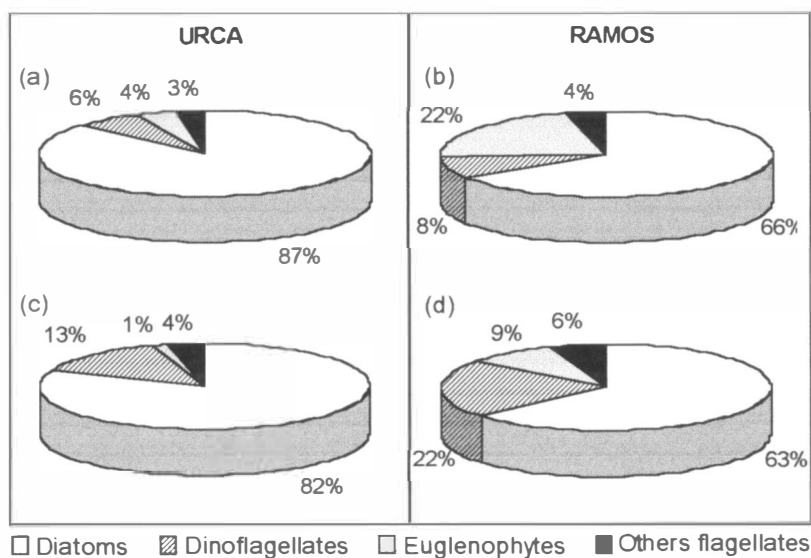


Figure 3.4. Median values of the relative proportion of autotrophs at Urca and Ramos in terms of major taxonomic groups: (a) and (b) cell density, (c) and (d) biomass.

Community Structure

Site Urca had a higher number of species of heterotrophs than site Ramos (17 and 12, respectively). The most frequent and most abundant taxa at both sites were dinoflagellates from the family Gymnodiniaceae, followed by *Oxyphysis oxytoxoides* Kofoid, *Protoperidinium conicum* (Gran) Balech and *Protoperidinium* spp. Bergh. In general, the same species were found in both sites, but a few known neritic species were exclusively found at Urca (*Noctiluca scintilans* (Macartney) Kofoid & Swezy, *Phalacroma* cf. *ovum* Schütt, *Polikrykos* spp. Bütschli and *Protoperidinium* cf. *pellucidum* Bergh). *Ebria tripartita* (Schum) Lemmermann (considered in the Class Zoomastigophorea), although found at both sites, was more frequent and more abundant at Urca.

Site Urca had a higher number of taxa of autotrophs than site Ramos (168 and 69, respectively). Diatoms were best represented (Urca: 74%; Ramos: 56%), seconded by dinoflagellates (Urca: 20%; Ramos: 31%). The number of taxa per sample was, in terms of median, 22 at Urca and 12 at Ramos (Table 3.2).

Diatoms were the most abundant organisms at both sites (median: 87% at Urca and 66% at Ramos) (Figure 3.4; Table 3.3), but the species composition was different. Site Urca had higher species richness than site Ramos (134 and 41, respectively). At Ramos, the most representative diatoms were unidentified centrics, *Cylindrotheca closterium* (Ehrenberg) Lewin & Reimann, and *Thalassiosira* spp. Cleve. At Urca, besides those found at Ramos, the following diatoms were also frequent: *Cerataulina* spp. H. Peragallo ex Schütt, *Dactyliosolen phuketensis* (Sundström) Hasle, *Leptocylindrus danicus* Cleve, *L. minimus* Gran, *Pleurosigma* W. Smith/*Gyrosigma* Hassal spp., and the groups “*Pseudo-nitzschia delicatissima*” and “*P. seriata*” Hasle. Larger species (>30µm) and/or chain-forming organisms had a higher occurrence at Urca, while at Ramos, the diatom

community was mostly comprised of cells that approached the lower limit of the microphytoplankton fraction (20µm).

The euglenophytes stood out in terms of their high abundances at Ramos (Figure 3.4; Table 3.3) from September to December of all three years, with especially high relative contributions (59% - 97%) from July to November 1999. At Urca, euglenophytes reached relative abundances higher than 50% only in three occasions: July and November 1999, and January 2000. The taxa found at both sites were *Euglena cf. ascusformis* Schiller, *Euglena* spp. Ehrenberg, *Eutreptiella marina* da Cunha and *Eutreptiella* spp. de Cunha.

Dinoflagellates and other flagellates had a low relative cell density overall, both at Urca and Ramos (Figure 3.4; Table 3.3). However, the biomass of dinoflagellates was greater than that of the euglenophytes at both sites (Figures 3.4c and 3.4d) and, at times, even higher than that of the diatoms at Urca (data not shown). Among the dinoflagellates, the Gymnodiniaceae Lankester, *Scrippsiella trochoidea* (Stein) Loeblick III, *Oxytoxum gracile* Schiller, *Prorocentrum micans* Ehrenberg, and *Dinophysis acuminata* Claraparède & Lachman were the most frequent ones. Species of the genera *Ceratium* Schrank and *Pyrocystis* Murray ex Haeckel were found only at Urca. Cryptophytes and prasinophytes were well represented in the “other flagellates” category.

Table 3.3. Minimum, maximum, mean, standard deviation and median values of cell density (cells.L⁻¹) and biomass (µgC.L⁻¹) of autotrophs found at Urca and Ramos.

Sites	Parameters	Groups	Minimum	Maximum	Mean	Standard deviation	Median
Urca	Cell Density	Diatoms	1.0,10 ⁴	5.1,10 ⁶	7.0,10 ⁵	9.2,10 ⁵	4.0,10 ⁵
		Euglenophytes	0	3.9,10 ⁵	4.3,10 ⁴	7.0,10 ⁴	1.7,10 ⁴
		Dinoflagellates	0	3.6,10 ⁵	5.4,10 ⁴	6.9,10 ⁴	2.9,10 ⁴
		Other flagellates	0	6.7,10 ⁵	5.1,10 ⁴	1.1,10 ⁵	1.3,10 ⁴
	Biomass	Diatoms	3	1,503	120	186	64
		Euglenophytes	0	24	3	5	1
		Dinoflagellates	0	574	32	74	9
		Other flagellates	0	269	12	35	3
Ramos	Cell Density	Diatoms	1.9,10 ⁴	3.5,10 ⁵	2.5,10 ⁶	4.3,10 ⁶	9.9,10 ⁵
		Euglenophytes	0	2.0,10 ⁷	1.2,10 ⁶	2.5,10 ⁶	3.3,10 ⁵
		Dinoflagellates	0	1.8,10 ⁶	2.5,10 ⁵	3.5,10 ⁵	1.2,10 ⁵
		Other flagellates	0	2.1,10 ⁶	2.1,10 ⁵	3.5,10 ⁵	5.8,10 ⁴
	Biomass	Diatoms	4	5,684	498	825	177
		Euglenophytes	0	1,262	88	167	25
		Dinoflagellates	0	1,061	128	202	54
		Other flagellates	0	620	55	103	16

The calculation of the diversity index included the group of the unidentified centrics, which was divided into four size classes (20-25µm, 28-35µm, 38-50µm, and 60-70µm). This was necessary to better reflect the local diversity, especially at Ramos, which would present an erroneously high diversity index otherwise. The 20-25 µm size class was the most abundant one at both sites. The detailed study of acid-cleaned material from net samples indicated that this size class was composed of *Cyclotella litoralis* Lange & Syvertsen and *C. striata* Kützing at Ramos, while at Urca it included equal proportions of species of *Cyclotella* and *Thalassiosira*. The other size classes were more frequently observed at Urca (*Actinoptychus senarius* (Ehrenberg) Ehrenberg, *Coscinodiscus* spp. Ehrenberg, *Thalassiosira* spp. Cleve). The diversity index was higher at Urca than at Ramos (median: 2.43 bits.cell⁻¹ and 1.68 bits.cell⁻¹, respectively). Diversity higher than 3 bits.cell⁻¹ was observed 17 times at Urca, but only twice at Ramos (November 1999 and October 2000), when low densities of the small unidentified centrics (20-25µm) co-dominated with dinoflagellates and euglenophytes.

Environmental Forcings of the Microphytoplankton Dynamics

Principal Component Analysis (PCA) was performed on two data sets: one for the abiotic data (Figure 3.5a) and the other for the phytoplankton (Figure 3.5b). The first two Principal Components (PC) accounted for 57% and 58% of the variance of the abiotic and biotic data, respectively.

PC1 of the abiotic data set explained 45% of the variance (Figure 3.5a). It indicated stronger pollution levels at Ramos (nutrients and total organic matter concentrations on the negative side) as opposed to the marine influence at Urca (salinity and nitrate on the positive side). PC2 explained 12% of the variance. It demonstrated the great variability in the environmental conditions found at Ramos, indicated by sharp changes in dissolved oxygen (on the negative side) in opposition to N:P ratio variations (on the positive side). This instability of site Ramos is further indicated by the projections of the variables in relation to the eigenvectors, that is, samples from site Ramos are more spreaded on the negative side, while those from site Urca are closer together on the positive side.

The results of the biotic data (Figure 3.5b) reflected well the findings of the abiotic data (Figure 3.5a). PC1 explained 42% of the variance. It showed that site Urca (positive side) presented higher values for species diversity, and species richness of total autotrophs and diatoms, while site Ramos (negative side) was characterized by higher overall abundance of organisms. PC2 explained 16% of the variance. All variables were on the negative side, except for the variable diatoms. The higher number of taxa and biomass of dinoflagellates on the extreme portion of the negative side can be associated to the highest temperatures and concentrations of dissolved oxygen and suspended particulate matter (Figure 3.5a). The separation between Urca and Ramos was not as sharp as shown for the abiotic data.

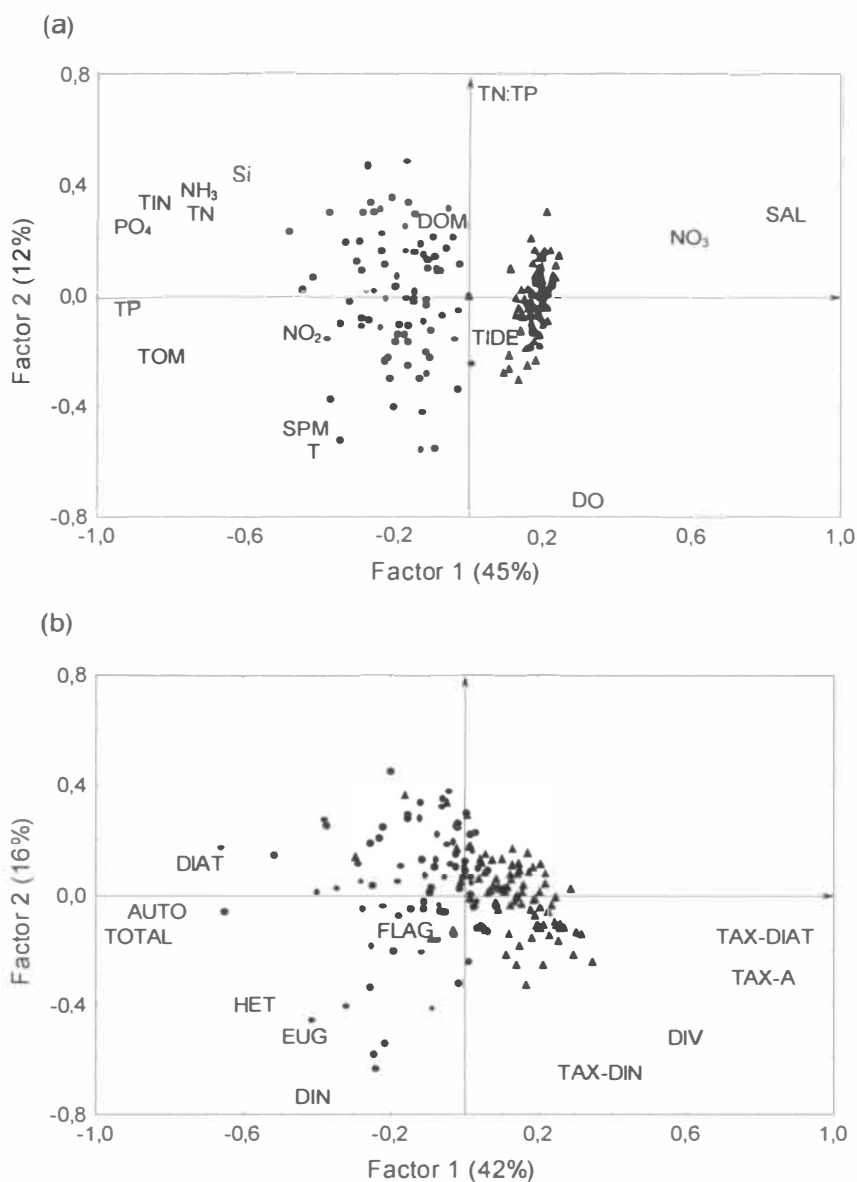


Figure 3.5. Principal Component Analysis (factorial planes I vs. 2) based on (a) abiotic data and on (b) phytoplankton data. Symbols: Site Urca (▲), Ramos (●), temperature (T), tide (TIDE), salinity (SAL), total organic matter (TOM), dissolved organic matter (DOM), suspended particulate matter (SPM), dissolved oxygen (DO), total nitrogen (TN), total inorganic nitrogen (TIN), ammonia (NH₃), nitrite (NO₂), nitrate (NO₃), total phosphorus (TP), phosphate (PO₄), total N:P ratio (TN:TP), silicate (Si); densities of microphytoplankton (TOTAL), autotrophs (AUTO), heterotrophs (HET), diatoms (DIAT), euglenophyceans (EUG), dinoflagellates (DIN), other flagellates (FLAG); diversity (DIV); and number of taxa of autotrophs (TAX-A), diatoms (TAX-DIAT) and dinoflagellates (TAX-DIN).

Discussion

The growing impact of man's activities on the water quality of Guanabara Bay over the years is shown by increasing values of fecal pollution (Paranhos *et al.*, 1995) and of ammonia levels, associated to the decrease in dissolved oxygen concentrations, especially in the inner-reaches of the bay (Lavrado *et al.*, 1991). There is some evidence that, over the past 15 years, the microphytoplankton has also shown a response to these changes. Archived microphytoplankton data from sampling sites close to Urca and Ramos, partly published in Villac *et al.* (1991), indicates that total cell density (auto and heterotrophs included) in the mid-80's varied between 10^3 and 10^6 cells.L⁻¹, reaching values beyond 10^5 cells.L⁻¹ only in 10% of the samples analysed. In the present data set, total cell density varies in a higher range, between 10^4 and 10^7 cell.L⁻¹ (10^6 cells.L⁻¹ in 53% of the samples).

Site Urca and site Ramos represented well the water quality gradient described for Guanabara Bay (Mayr *et al.*, 1989): the best water quality is found along its north-south central axis (the main circulation channel), while the area around its margins is directly affected by the proximity to pollution sources, with an increasing deterioration of water quality from the entrance to the bay (site Urca) to the north-western portion (site Ramos), where the worst conditions are found. Indeed, the area where site Ramos is located has undergone a more rapid decrease in water quality than the remaining of the bay (Lavrado *et al.*, 1991). Microphytoplankton abundances reflected well this trend: at present, Urca and Ramos differ in their average abundances, but in 1985 they both had similar average cell densities (*ca.* 10^5 cells.L⁻¹, unpublished data). The interpretation of time variations found during the study period is beyond the scope of this work and will be discussed in the next chapter.

Cell densities similar to those found for Guanabara Bay were reported for South San Francisco Bay (10^6 - 10^7 cells.L⁻¹ ; Cloern, 1991) and for two other tropical estuaries in

India: Bombay Harbour-Thana creek system (10^5 - 10^7 cells.L⁻¹ ; Ramaiah *et al.*, 1995) and Mondovi-Zuari estuary (10^3 - 10^6 cells.L⁻¹ ; Devassi & Goes, 1988). These values, however, included the nanoplankton fraction, which further corroborates the advanced state of eutrophication of our study area.

Some structural aspects of the microphytoplankton community, such as species composition and relative abundance of some autotrophic groups, showed to be key in interpreting the differences found between Urca and Ramos; for instance, the co-dominance of small diatoms and euglenophytes at Ramos, as opposed to the contribution of small and large diatoms at Urca. The dominance of small diatoms and flagellates are indeed favoured in more turbid, shallow harbors, regardless of nutrient levels, because larger diatoms tend to sink out of the shallow photic zone before reproduction is completed (Gardiner & Dawes, 1987). On the other hand, the presence of larger, chain-forming diatoms at Urca, as well as some typically marine dinoflagellates, indicate the influence of truly marine waters in the bay. The presence of large diatoms at Urca was also attributed to benthic/thycopelagic diatoms (e.g., *Paralia sulcata* (Ehrenberg) Cleve and *Diploneis* sp. Cleve) that were resuspended from the sediment or the rocky shores at times of rough weather.

Higher organic matter content and lower salinity probably determined the great contribution of euglenophytes at Ramos, observed especially during the dryer season when the water column is expected to be more stable. The group is normally associated to some degree of freshwater contribution because out of the *ca.* 800 species described (Van den Hoek *et al.*, 1995) only 35 are considered to be essentially marine (Sournia *et al.*, 1991). Some taxa of euglenophytes have been often mentioned as indicators of organic pollution, and it has been long demonstrated that dissolved organic matter is a requirement for *Euglena* Ehrenberg growth (Lackey, 1968). Only the more detailed

taxonomic study of the euglenophytes of Guanabara Bay will verify the potential use of species of this group as indicators of freshwater and organic matter input to the bay.

The contribution of heterotrophic cells was small (3% at Urca and 5% at Ramos), which means that, in terms of cell density, previous phytoplankton data for Guanabara Bay was not as overestimated for including heterotrophs, as expected. The relative contribution of auto-to-heterotrophs decreased at times of worse water quality conditions (higher organic matter content and lower dissolved oxygen concentrations), when heterotrophs reached 20-50% of total cell density. Regardless of the degree of pollution, however, heterotrophic organisms of genera such as *Ebria* Borgert, *Gyrodinium* Kofoed & Swezy, *Oxytoxum* Stein and *Protoperidinium* Bergh have been a common component of Guanabara Bay waters since the beginning of the XXth century (Faria & Cunha, 1917).

The conversion of cell density to biovolume and calculation of biomass in terms of carbon, brought new insights to our understanding of the local phytoplankton: statistical correlations with nutrients were higher, the relative contribution of heterotrophs increased due to their larger size, and the relative importance of autotrophic species changed. Indeed, biomass can reflect cellular metabolic processes better than cell density, which does not consider cell size variability (Smayda, 1978). The fact that the heterotrophs are larger than the autotrophs means that previous phytoplankton data for Guanabara Bay was overestimated for including heterotrophs, especially in periods with autotrophic components represented by large diatoms. Large diatoms have a bigger vacuole than small ones, so they present lower biomass for unit of volume (Strathman, 1967). Abundance in terms of biomass also altered our perception of the relative importance of taxonomic groups, that is, dinoflagellates became more important than the smaller-sized euglenophytes.

In summary, the autotroph microphytoplankton reflected the trophic and salinity differences found between Urca (meso-eutrophic) and Ramos (hypertrophic), which represented well the extreme conditions of land-based sites of Guanabara Bay. Sampling sites located along the main circulation channel would probably be mesotrophic (as Urca was for 2000), due to the direct influence of cleaner and more saline coastal water (Mayr *et al.*, 1989; Kjerfve *et al.*, 1997). Ramos presented higher abundance, while Urca had a higher species diversity. Some exceptions to this scenario were found, when the water quality at Ramos improved or when it was worse at Urca, as indicated by the distribution of samples on the principal component analysis of the biotic variables (Figure 3.5b). This shift was more frequent at Urca, which raises concern in regard to the evolution of the water quality of the bay as a whole. Until pollution sources are not completely under control, there is a danger for site Urca to evolve towards a truly eutrophic state.

The microphytoplankton was a good indicator of the distinct trophic states found in the bay, according to Hakanson's 1994 classification using total nitrogen. The classification according to chlorophyll *a* levels, however, considered both sites as hypertrophic. Hakanson's index for chlorophyll *a*, was based on data of coastal areas from temperate regions which takes into account very narrow ranges for each trophic category. Contradictory results in the use of this classification are not unexpected, since Guanabara Bay is a tropical estuary with large space-time variabilities. A reviewed classification, at least for chlorophyll *a* data, is called for, in order to better represent the characteristics of highly variable environments of tropical systems.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BALECH, E.; SOARES, L.O. Dos dinoflagelados de la Baía de Guanabara y proximidades (Brasil). **Neotropica**, v. 12, n. 39, p. 103-109, 1966.

BOOTH, B.C. The use of autofluorescence for analysing oceanic phytoplankton communities. **Botanica Marina**, v. 30, p. 101-108, 1987.

_____. Estimation de la biomassa del plancton autotrófico usando microscopia. In: ALVEAL, K. et al. (Ed.). **Manual de Métodos Ficológicos**. Concepción - Chile: Universidad de Concepción, 1995. p. 187-198.

CLOERN, J.E. Tidal stirring and phytoplankton bloom dynamics in an estuary. **Journal of Marine Research**, v. 49, p. 203-221, 1991.

DEVASSY, V.P.; GOES, J.I. Phytoplankton community structure and succession in a tropical estuarine complex (Central West Coast of India). **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 27, p. 671-685, 1988.

EDLER, L. Recommendations for marine biological studies in the Baltic Sea - Phytoplankton and chlorophyll. **Baltic Marine Biologists**, v. 5, p. 1-39, 1979.

FARIA, J.G. **Um ensaio sobre o plankton, seguido de observações sobre ocorrência de plankton monotono, causando mortandade entre os peixes na Bahia do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro, 1914. 48f. Tese (Livre Docência) - Faculdade de Medicina, Universidade do Brasil.

_____; CUNHA, A.M. Estudos sobre o microplancton da Baía do Rio de Janeiro e suas imediações. **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz**, v. 9, n. 1, p. 68-93, 1917.

FRONTIER, S. L'échantillonnage de la diversité spécifique. In: PÉRES, J.M. (Ed.) **Stratégies d'Echantillonnage en Écologie**, Québec: Les Press de L'Université Laval de Québec, 1986. p. 416-436.

GAINES, G.; ELBRACHTER, M. Heterotrophic nutrition. In: TAYLOR, F.J.R. (Ed.). **Biology of Dinoflagellates**. Oxford: Balckwell, 1987. p. 224-268.

GARDINER, W.E.; DAWES, C.J. Seasonal variation of nannoplankton flagellate densities in Tampa bay, Florida. **Bulletin of Marine Science**, v. 40, n. 2, p. 231-239, 1987.

GRASSHOFF, K.A.; EHRHARDT, M.; KREMILING, K. **Methods of seawater analysis**. Verlag Chemie, 1983.

HAKANSON, L. A review of effect-dose-sensitivity models for aquatic ecosystems. **Internationale Revue der Gesamten Hydrobiologie**, v. 79, p. 621-667, 1994.

HASLE, G.R.; FRYXELL, G.A. Diatoms: cleaning and mounting for light and electron microscopy. **Transactions of the American Microscopical Society**, v. 89, n. 4, p. 469-474, 1970.

HUSZAR, V.L.M. et al. Phytoplankton species composition is more sensitive than OECD criteria to the trophic status of three Brazilian tropical lakes. **Hydrobiologia**, v. 369/370, p. 59-71, 1998.

JIMÉNEZ, F. et al. Relations between chlorophyll, phytoplankton cell abundance and biovolume during a winter bloom in Mediterranean coastal waters. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 5, n. 2/3, p. 161-173, 1987.

KATOH, K. A comparative study on some pollution indices using diatoms. **Diatom**, v. 6, p. 11-17, 1991.

KJERFVE, B. et al. Oceanographic characteristics of an impacted coastal bay: Baía de Guanabara, Rio de Janeiro, Brazil. **Continental Shelf Research**, v. 17, n. 13, p. 1609-1643, 1997.

LACKEY, J.B. Ecology of *Euglena*. In: BUETOW, D.E. (Ed.). **The Biology of Euglena**. New York; London: Academic Press, 1968. p. 27-43.

LAVRADO, H.P. et al. Evolution (1980-1990) of ammonia and dissolved oxygen in Guanabara bay, RJ, Brazil. In: MAGOON, O.T. et al. (Ed.). **Coastal Zone'91**. California: American Society of Civil Engineers, 1991. p. 3234-3245.

LUND, J.W.G.; KIPLING, C.; CREN, D. LE. The inverted microscope method of estimating algal numbers and the statistical basis of estimations by counting. **Hydrobiologia**, v. 11, p. 143-170, 1958.

MAYR, L.M. et al. Hydrobiological characterization of Guanabara bay. In: MAGOON, O.; NEVES, C. (Ed.). **Coastlines of Brazil**. New York: American Society of Civil Engineers, 1989. p. 124-138.

MONTAGNES, D.J.S. et al. Estimating carbon, nitrogen, protein, and chlorophyll *a* from volume in marine phytoplankton. **Limnology and Oceanography**, v. 39, n. 5, p. 1044-1060, 1994.

NIXON, S.W. Coastal marine eutrophication: a definition, social causes, and future concerns. **Ophelia**, v. 41, p. 199-219, 1995.

PARANHOS, R. **Alguns métodos para análise da água**. Rio de Janeiro: UFRJ, 1996.

_____; NASCIMENTO, S.M.; MAYR, L.M. On the faecal pollution in Guanabara bay, Brazil. **Fresenius Environmental Bulletin**, v. 4, p. 352-357, 1995.

PARSONS, T.R.; MAITA, Y.; LALLI, C.M. **A manual of chemical and biological methods for seawater analysis**. Oxford: Pergamon Press, 1984.

RAMAIAH, N. et al. Autotrophic and heterotrophic characteristics in a polluted tropical estuarine complex. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 40, p. 45-55, 1995.

SCHUTZE, M.L.M.; MACHADO, M.C.S.; ZILLMANN, S.M.S. Phytoplankton biomass of Guanabara bay (Rio de Janeiro, Brazil) and adjacent oceanic area: variations from January through July 1979. In: FIGUEIREDO, M.R.C.; CHAO, N.L.; KIRBY-SMITH, W. (Ed.). **Proceedings of International Symposium on utilization of coastal ecosystems: planning, pollution and productivity**. FURG, 1989. p. 309-324.

SHAW, A.B. **Time in stratigraphy**. New York; San Francisco; Toronto; London: McGraw-Hill Book Company, 1964.

SMAYDA, T.J. From phytoplankters to biomass. In: SOURNIA, A. (Ed.). **Phytoplankton Manual**. Paris: UNESCO, 1978. p. 273-279.

SMITH, V.H. Cultural eutrophication of inland, estuarine, and coastal waters. In: PACE, M.L.; GROFFMAN, P.M. (Ed.). **Successes, limitations and frontiers in ecosystem science**. New York: 1998. p. 7-47.

SOURNIA, A.; CHRÉTIENNOT-DINET, M.-J.; RICARD, M. Marine phytoplankton: how many species in the world? **Journal of Plankton Research**, v. 13, p. 1093-1099, 1991.

STRATHMANN, R.R. Estimating the organic carbon content of phytoplankton from cell volume or plasma volume. **Limnology and Oceanography**, v. 12, p. 411-418, 1967.

UTERMÖHL, H. Perfeccionamiento del metodo cuantitativo del fitoplancton. **Asociación Internacional de Limnología Teórica y Aplicada - Comité de metodos limnológicos, comunicación**, v. 9, p. 39, 1958.

VALENTIN, J.L. et al. Caractéristiques hydrobiologiques de la baie de Guanabara (Rio de Janeiro, Brésil). **Journal Recherche Oceanographique**, v. 24, n. 1, p. 33-41, 1999.

VAN DEN HOEK, C.; MANN, D.G.; JAHNS, H. **Algae - an introduction to phycology**. Cambridge: Cambridge University Press, 1995.

VILLAC, M.C. et al. Sampling strategies proposed to monitor Guanabara bay, RJ, Brasil. In: MAGOON, O.T. et al. (Ed.). **Coastal Zone'91**. New York: American Society of Civil Engineers, 1991.

VOLLENWEIDER, R.A. **Scientific fundamentals of the eutrophication of lakes and flowing waters, with particular reference to nitrogen and phosphorous as factors in eutrophication**. OECD. Paris: 1968.

VOLLENWEIDER, R.A.; KERÉKES, J. The loading concept as basis for controlling eutrophication philosophy and preliminary results of the OECD programme on eutrophication. **Progress Water Fresenius**, v. 12, p. 5-38, 1980.

CAPÍTULO 4 - Variações temporais do microfitoplâncton da baía de Guanabara em média e larga escalas⁹

Viviane S. dos Santos, M. Célia Villac, Denise R. Tenenbaum e Jean L. Valentin

Resumo

Variações do microfitoplâncton em larga e média escalas, associadas a fenômenos hidrológicos (variação do fluxo dos rios) e oceanográficos ('La Niña' e maré), são descritas para a baía de Guanabara, um estuário tropical poluído. O estudo baseia-se em coletas semanais a sub-superfície, realizadas entre julho de 1998 e dezembro de 2000 em um ponto interno (menos salino e hipereutrófico) e outro em sua entrada (mais salino e meso-eutrófico). São abordados aspectos estruturais (composição, riqueza, densidade e diversidade) e pré-funcionais (biomassa autotrófica). O microfitoplâncton foi composto basicamente por diatomáceas, tanto em termos de densidade quanto de biomassa. Variações na biomassa total, proporção dos grupos taxonômicos e táxons dominantes foram atribuídas a eventos sazonais (presença/ausência de chuvas) e interanuais (presença/ausência de La Niña). As variações semanais foram mais evidentes para a biomassa dos dinoflagelados e euglenofíceas, principalmente durante período de chuvas e em Ramos, quando e onde há alta instabilidade ambiental. O microfitoplâncton foi constantemente composto por espécies R-estrategistas. Ocorrência expressiva de espécies S-estrategistas foi observada durante períodos de maior estabilidade ambiental (baixa pluviosidade, alta luminosidade).

Palavras-chave: microfitoplâncton; estrutura da comunidade; biomassa; estuário tropical poluído; escalas temporais; La Niña.

⁹ A ser submetido à revista *Journal of Plankton Research*

Introdução

Alterações estruturais e funcionais da comunidade fitoplanctônica em resposta a processos físicos, químicos e biológicos ocorrem em diferentes escalas de tempo, que podem variar de segundos a anos. A estratégia de coleta é a chave para a detecção de variações de curta, média ou longa escalas (Margalef, 1978b). Em regiões costeiras, especialmente estuários, os efeitos das perturbações físicas são manifestados mais fortemente que em áreas oceânicas (Côte & Platt, 1983), sendo detectadas escalas temporais de variação mais marcadas. Nos estuários, as variações sazonais estão associadas ao aumento do fluxo dos rios, enquanto que variações diárias a semanais são atribuídas às flutuações de maré (Kamykowski, 1974; Cloern, 1991) e alterações meteorológicas (Abboud-Abi Saab, 1992).

O aumento do fluxo dos rios é o principal fator atuante na sazonalidade do fitoplâncton estuarino, afetando a comunidade de forma direta (transporte dos organismos causando diluição ou acúmulo de biomassa) ou indireta (alterações nos fatores físicos, químicos e biológicos controladores do crescimento) (Lehman & Smith, 1991). As regiões tropicais apresentam duas estações bem marcadas pela presença/ausência de chuvas (verão chuvoso e inverso seco), estando o aumento do fluxo dos rios associado à ocorrência de chuvas durante o verão (Gilbes *et al.*, 1996). O regime do fluxo dos rios é um fator importante também em estuários temperados como o de Kennebec (Wong & Townsend, 1999), baía de Chesapeake (Marshall, 1980), Tampa (Gardiner & Dawes, 1987) e de São Francisco (Cloern *et al.*, 1983; Alpine & Cloern, 1992), nos EUA, e Canal de Briston em U.K. (Joint & Pomroy, 1981).

Alterações climáticas globais causadas pelos fenômenos oceanográficos ‘El Niño’ e ‘La Niña’ têm sido associadas a variações interanuais e interdecadais na estrutura da comunidade fitoplanctônica em diversos sistemas aquáticos, como a costa da Califórnia (Baughmgartner *et al.*, 1985) e suas lagoas costeiras (Cota & Borrego, 1988), baía de São

Francisco (Lehman, 2000) e baía de Chesapeake (Harding & Perry, 1997) nos EUA, costa do Peru (Arntz & Tarazona, 1988; Barber & Chavez, 1993), costa do Chile (Avaria & Muñoz, 1987), Pacífico equatorial (Barber *et al.*, 1996) e tropical (Fiedler *et al.*, 1992). No Brasil, o mesmo foi encontrado no reservatório de Sobradinho, localizado na região semi-árida do nordeste brasileiro (Bouvy *et al.*, 1999), e na área de ressurgência de Cabo Frio (Martin *et al.*, 1991). Estes fenômenos climáticos implicam em modificações no regime de chuvas e/ou na irradiância (Wells *et al.*, 1996). Oscilações no regime de chuvas afetam diretamente o fluxo dos rios, alterando a salinidade, turbidez e turbulência da coluna d'água, enquanto que modificações na irradiância alteram a temperatura do ar e da água, influenciando nas taxas de fotossíntese e formação de termoclina. Tais modificações atuam em conjunto com a química ambiental (disponibilidade de nutrientes) e fatores biológicos (competição e predação) interferindo na dinâmica fitoplanctônica.

A baía de Guanabara é um estuário tropical poluído com variações espaciais marcantes devido ao gradiente de salinidade e eutrofização (Mayr *et al.*, 1989), que condicionam a distribuição do fitoplâncton (Villac *et al.*, 1991). As variações temporais do fitoplâncton, tanto por eventos sazonais como por maré, foram descritas para a região abordando aspectos estruturais (Villac *et al.*, 1991; Schutze *et al.*, 1989; Sevrin-Reyssac *et al.*, 1979). Este estudo tri-anual, incluindo períodos de 'La Niña', com coletas intensivas (semanais) em duas áreas da baía de Guanabara contrastantes quanto ao estado trófico e salinidade, objetiva confirmar as variações sazonais encontradas para o fitoplâncton, e encontrar possíveis variações interanuais e semanais do microfitoplâncton autotrófico ($> 20\mu\text{m}$). Foram contemplados aspectos da estrutura da comunidade e a biomassa de autótrofos. A biomassa autotrófica, em termos de carbono da base da cadeia alimentar, é um aspecto pré-funcional de crescente relevância devido às modificações globais no ciclo do carbono e o interesse na teia alimentar microbiana (Verity *et al.*, 1992).

Área de Estudo e Amostragem

A baía de Guanabara, localizada no Estado do Rio de Janeiro, Brasil, é um estuário poluído devido a interferências antrópicas, com área de 381 km^2 e volume de 10^9 m^3 (Figura 4.1). Sua bacia de drenagem tem uma área de 4.000 km^2 e é composta por cerca de 35 rios. A baía apresenta profundidade variável, sendo entre 0 e 10 metros em 75% da sua área, incluindo todo o seu entorno e áreas mais internas, e entre 10 e 50 metros nos 15% restantes, respectivos a sua entrada e canal central de circulação. O tempo de renovação médio de suas águas é de 11,4 dias, sendo significativamente mais longo nas partes mais rasas em seu interior. O regime de maré é semi-diurno, com marés apresentando período médio de 0,7 metros (Kjerfve *et al.*, 1997). Seu caráter estuarino é comprovado pela diferença de salinidade entre a sua entrada (32 a 37 tanto na superfície quanto no fundo) e seu interior (13 a 27 na superfície; 27 a 29 no fundo) (Mayr *et al.*, 1989).

O clima na região é tropical caracterizado por um verão chuvoso (setembro a abril) e inverno seco (maio a agosto). As distribuições anuais da pluviosidade e temperatura do ar no período de estudo (julho de 1998 a dezembro de 2000) comparadas à média histórica (1961-1990) indicaram que os anos de 1998 e 1999 apresentaram grandes oscilações devido à ocorrência dos fenômenos El Niño e La Niña (Figura 4.2). No sudeste do Brasil, os efeitos do El Niño são altas temperaturas e pluviosidades e do La Niña temperaturas abaixo da média e chuvas irregulares. Durante o período estudado foi registrada a ocorrência de La Niña no final de 1998 e durante 1999. O ano de 2000 apresentou temperatura e pluviosidade mais próximos da média, com exceção do período de inverno que foi sensivelmente mais seco.

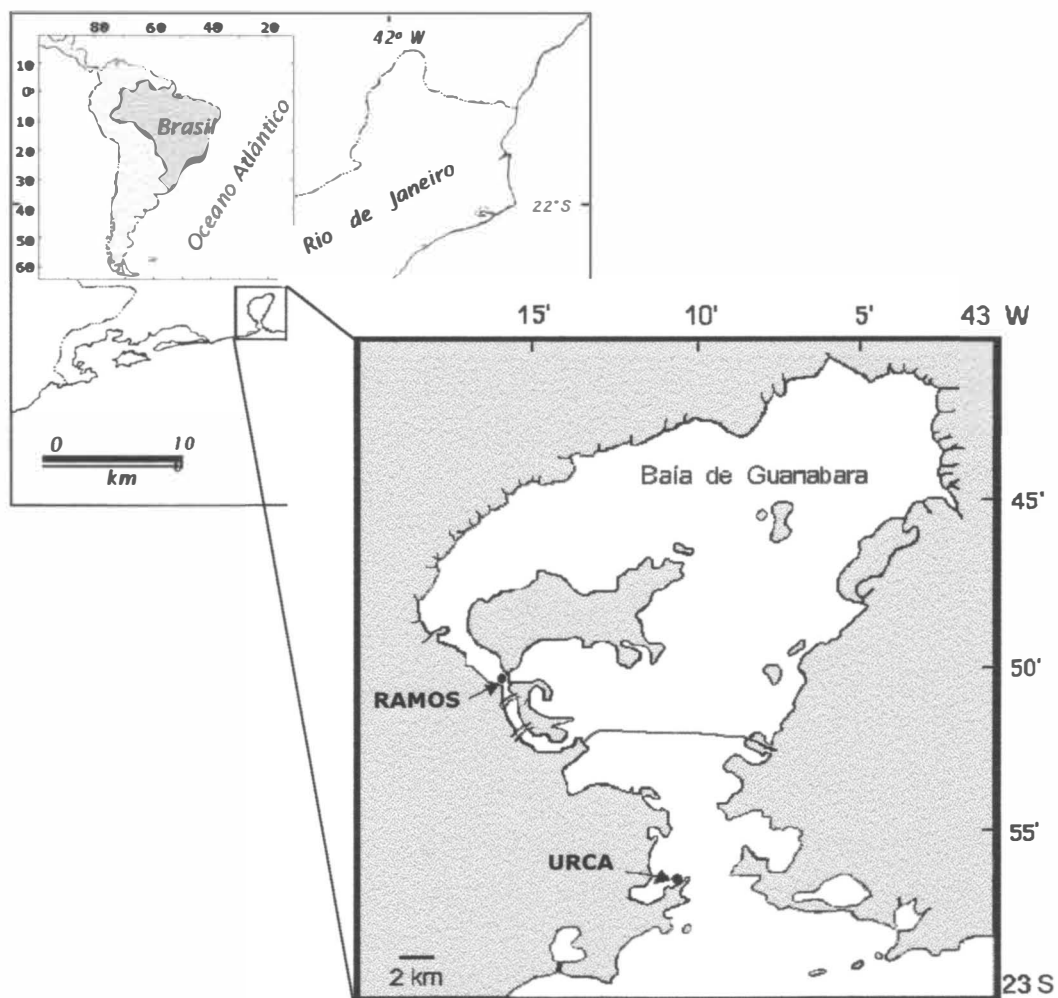


Figura 4.1. Baía de Guanabara, Brasil, mostrando os pontos Urca e Ramos, amostrados semanalmente de julho de 1998 a dezembro de 2000.

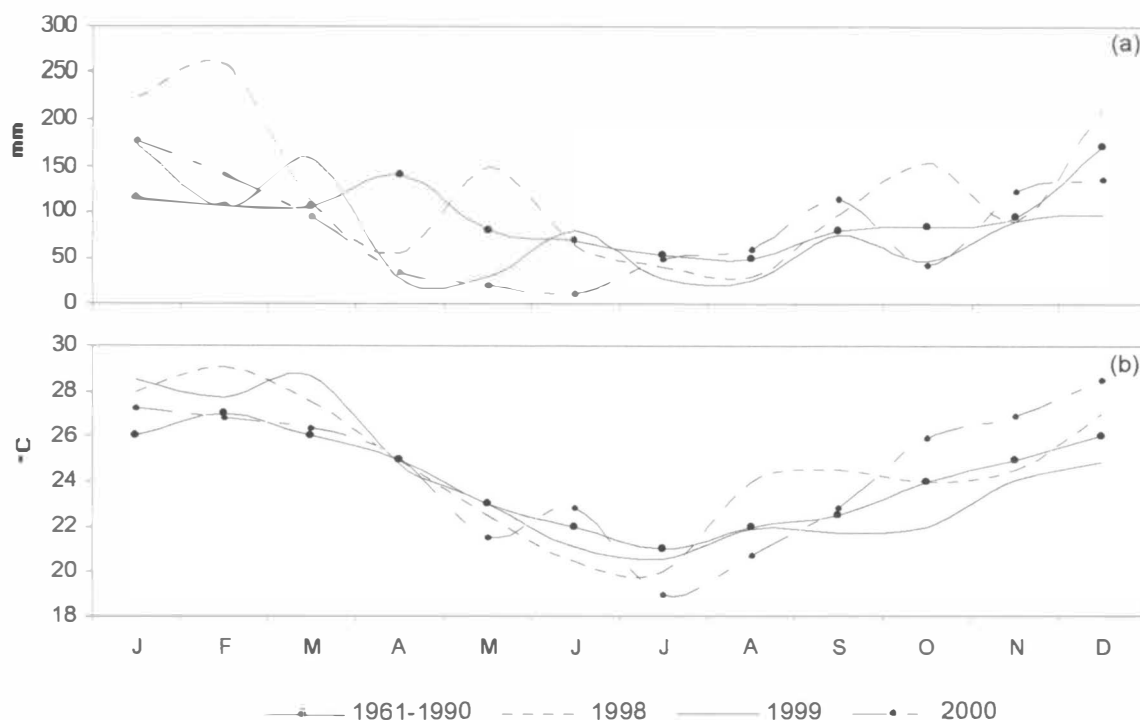


Figura 4.2. Variáveis climatológicas (a) pluviosidade e (b) temperatura do ar na baía de Guanabara durante o período de estudo (1998-2000) comparadas à média histórica (1961-1990).
Fonte: GeoRio (1999, 2000, 2001); INMET (2001).

Foram objeto de amostragem dois pontos de coleta distintos quanto à salinidade e qualidade da água: (a) Urca, meso-eutrófico, próximo à entrada da baía e com maiores salinidades; e (b) Ramos, hipereutrófico, localizado no interior da baía, com menores salinidades (Figura 4.1). A salinidade nos pontos varia sazonalmente, sendo menores durante o verão chuvoso (Figura 4.3). Neste período, as diferenças entre os pontos são mais acentuadas, pois as chuvas e o decorrente aumento na descarga dos rios provocam maior queda da salinidade em Ramos.

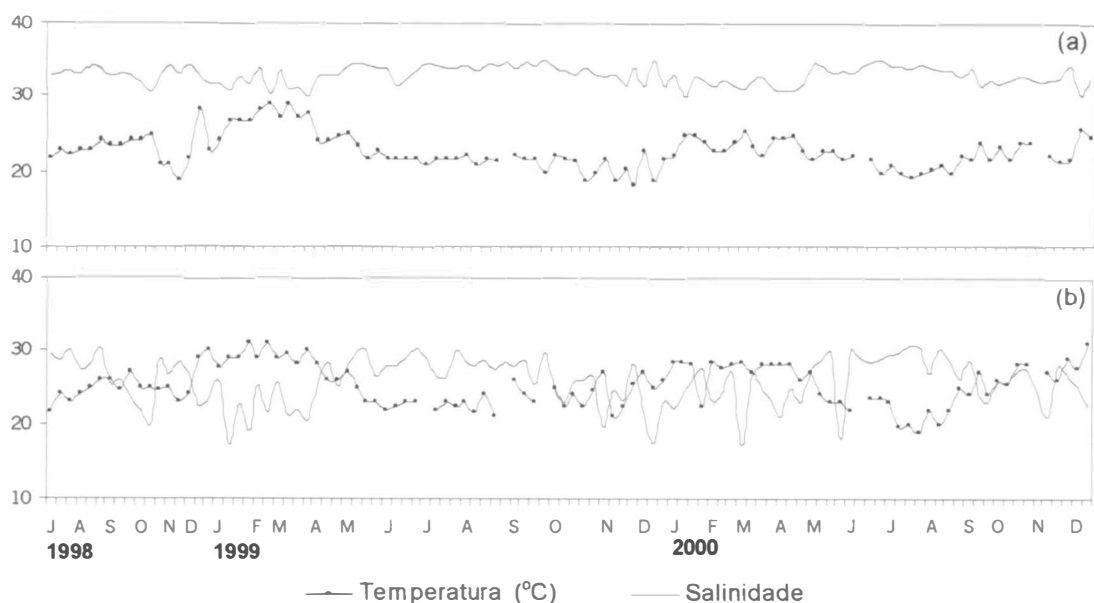


Figura 4.3. Temperatura da água e salinidade durante o período de estudo (07/1998 a 12/2000) nos pontos (a) Urca e (b) Ramos. Fonte: R. Paranhos (dato não publicado).

Metodologia de Análise

Amostras de água para a análise quali-quantitativa foram coletadas com garrafa de Van Dorn à sub-superfície, colocadas em frascos escuros, fixadas imediatamente com formol tamponado a 2% e mantidas resfriadas durante transporte e estocagem (Booth, 1987, modificado). A análise foi feita pelo método de sedimentação (Utermöhl, 1958), com alíquotas de 10 a 50 mL para o ponto Urca, e entre 2 e 10 mL para Ramos. A distinção das formas autotróficas foi feita em epifluorescência sob luz azul (Booth, 1995). Os grupos autotróficos foram individualizados em diatomáceas, dinoflagelados, euglenofíceas e outros flagelados (criptofíceas, prasinofíceas e clorofíceas). Os procedimentos de contagem e conversão de densidade celular para biomassa autotrófica seguem o capítulo 3.

A análise das anomalias nos valores de biomassa dos grupos microfitoplanctônicos durante o período de estudo foi feita a partir de dados padronizados (Lehman, 2000). Foi estabelecida uma unidade de desvio padrão (UDP) a partir da biomassa em cada amostra (BM), média (X) e desvio padrão (dp) para todo o período, segundo a relação:

$$\frac{UDP = BM - X}{dp}$$

Como resultado desta padronização, o valor zero representa a média do período, enquanto os valores positivos são maiores que a média e os negativos menores. Dados físicos e químicos da água foram utilizados como variáveis ecológicas complementares na análise da variação temporal do microfitoplâncton, através de cálculos de correlação r de Pearson (n=106).

Resultados

A abundância total dos organismos foi uma ordem de grandeza maior em Ramos durante todo o período estudado, tanto para a densidade celular quanto para a biomassa (Figura 4.4; Tabela 4.1). Em mediana, a densidade e biomassa desta região foram 10^6 cel.L⁻¹ e 10^2 µgC.L⁻¹, respectivamente. Estas medidas de abundância microfitoplanctônica apresentaram tendência temporal similar. Exceções foram observadas para a Urca, onde alguns picos de densidade não representaram picos de biomassa (outubro/1998 e abril, maio e setembro/2000), pois o microfitoplâncton foi basicamente composto por *Cylindrotheca closterium* (Ehrenberg) Lewin & Reimann e *Leptocylindrus minimus* Gran, diatomáceas com menor biovolume. A variação do microfitoplâncton, em termos de densidade celular, apresentou tendência sazonal distinta entre os pontos. Já em termos de biomassa, a variação foi similar entre os pontos, sendo possível estabelecer 5 períodos comuns: (1) menores biomassas no outono-inverno e primavera de 1998; (2) picos de biomassa no verão de 1999; (3) baixas biomassas entre abril de 1999 e abril de 2000, período que inclui estações de outono-inverno, primavera e verão; (4) outono-inverno de 2000, com ocorrência de um

pico no início da estação seguido por menores biomassas; e (5) aumento durante primavera de 2000. Isso mostrou que houve uma variação interanual entre as primaveras e entre os verões que apresentaram, respectivamente, baixas e altas biomassas durante os anos com ocorrência do fenômeno “La Niña” (1998 e 1999).

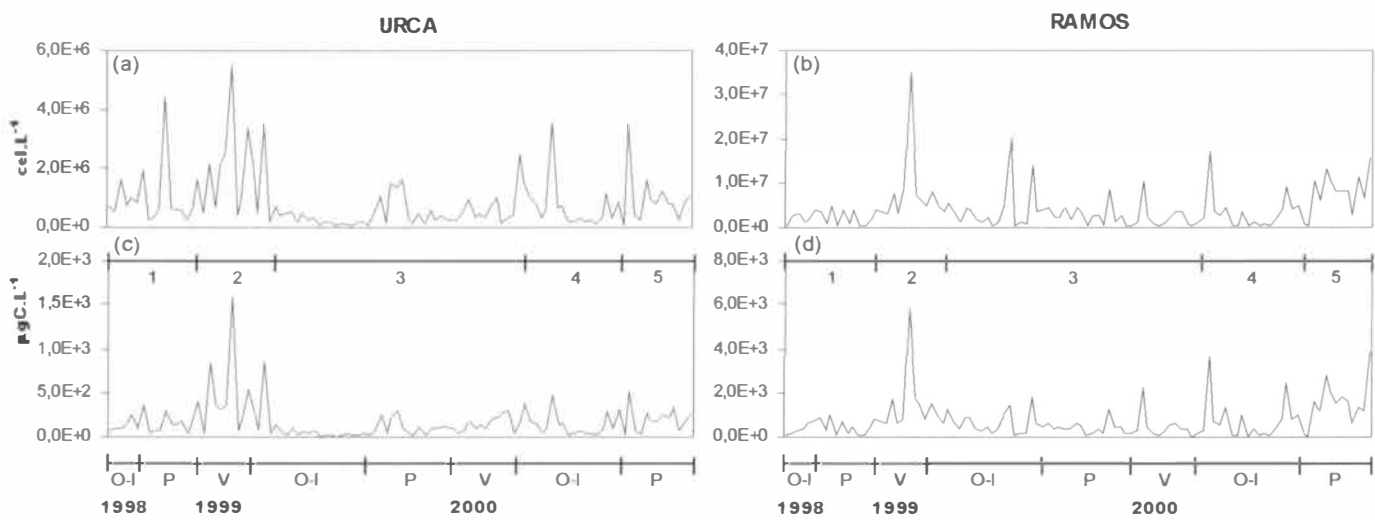


Figura 4.4. Abundância total do microfitoplâncton nos pontos Urca e Ramos (07/1998 a 12/2000): (a) e (b) densidade, (c) e (d) biomassa. Legenda: O-I = outono-inverno (abril a agosto); P = primavera (setembro a dezembro); V = verão (janeiro a março); 1-5 = períodos estabelecidos segundo variação da biomassa total (vide texto).

Tabela 4.1. Médias e desvios padrões da densidade e biomassa do microfitoplâncton anuais e para todo o período de estudo (1998-2000) nos pontos Urca (UR) e Ramos (RA).

Parâmetros		Ponto de Colcta (ano)							
		UR (98-00)	RA (98-00)	UR (1998)	RA (1998)	UR (1999)	RA (1999)	UR (2000)	RA (2000)
Densidade (10 ⁵ cel.L ⁻¹)	Total	8.4 ± 9.6	42.3 ± 48.9	10.3 ± 10.0	23.2 ± 15.8	8.3 ± 11.1	46.8 ± 15.8	7.9 ± 7.9	44.5 ± 44.7
	Diatomáceas	6.9 ± 9.2	25.2 ± 42.9	9.0 ± 9.4	11.4 ± 10.8	6.8 ± 10.5	23.7 ± 52.0	6.3 ± 7.6	32.0 ± 39.1
	Dinoflagelados	0.5 ± 0.7	2.5 ± 3.5	0.6 ± 0.8	2.3 ± 1.8	0.6 ± 0.8	2.7 ± 4.0	0.4 ± 0.5	2.4 ± 3.6
	Euglenofíceas	0.4 ± 0.7	12.5 ± 25.3	0.3 ± 0.4	7.6 ± 10.9	0.5 ± 0.8	17.4 ± 34.0	0.4 ± 0.7	9.0 ± 16.5
	Outros flagelados	0.5 ± 1.1	2.1 ± 3.5	0.3 ± 0.5	1.9 ± 3.5	0.4 ± 0.7	3.2 ± 4.4	0.7 ± 1.5	1.1 ± 1.8
Biomassa (10 µg C.L ⁻¹)	Total	16.8 ± 20.7	78.0 ± 87.1	15.9 ± 11.2	42.9 ± 31.5	17.4 ± 28.6	77.2 ± 90.1	16.6 ± 12.3	91.8 ± 95.9
	Diatomáceas	12.0 ± 18.6	50.0 ± 82.5	13.6 ± 9.7	20.6 ± 23.7	12.3 ± 25.7	42.8 ± 86.9	11.0 ± 11.2	68.9 ± 89.2
	Dinoflagelados	3.3 ± 7.4	13.5 ± 20.6	1.5 ± 1.9	11.0 ± 10.1	3.9 ± 9.5	13.7 ± 21.6	3.4 ± 6.1	14.2 ± 22.7
	Euglenofíceas	0.3 ± 0.5	8.8 ± 16.7	0.2 ± 0.4	7.7 ± 11.6	0.4 ± 0.5	12.0 ± 21.6	0.3 ± 0.4	5.8 ± 10.9
	Outros flagelados	1.2 ± 3.5	5.5 ± 10.3	0.5 ± 0.9	3.5 ± 7.5	0.9 ± 1.2	8.7 ± 13.3	1.9 ± 5.3	2.9 ± 5.8

Quanto à contribuição relativa dos grupos taxonômicos, as diatomáceas foram mais importantes, tanto em densidade celular quanto em biomassa, nos dois pontos de coleta a maior parte do período de estudo (Figura 4.5). A variação dos grupos segundo as estações do ano foi distinta entre os pontos e entre os indicadores de abundância. Em Ramos, em termos de densidade celular, a dominância das diatomáceas foi maior nos períodos chuvosos (janeiro-março; Figura 4.2), e euglenofíceas e “outros flagelados” (silicoflagelados, prasinofíceas e criptofíceas) destacaram-se nos períodos de baixa pluviosidade (maio-outubro; Figura 4.2). Em termos de biomassa, o grupo das euglenofíceas perdeu importância para os dinoflagelados e “outros flagelados” que, em média, apresentaram maior biovolume. Na Urca, as diatomáceas dominaram a maior parte do tempo, sendo observados eventuais aumentos da contribuição de dinoflagelados e “outros flagelados” durante o verão e outono-inverno. Este aumento de flagelados foi mais significativo em termos de biomassa.

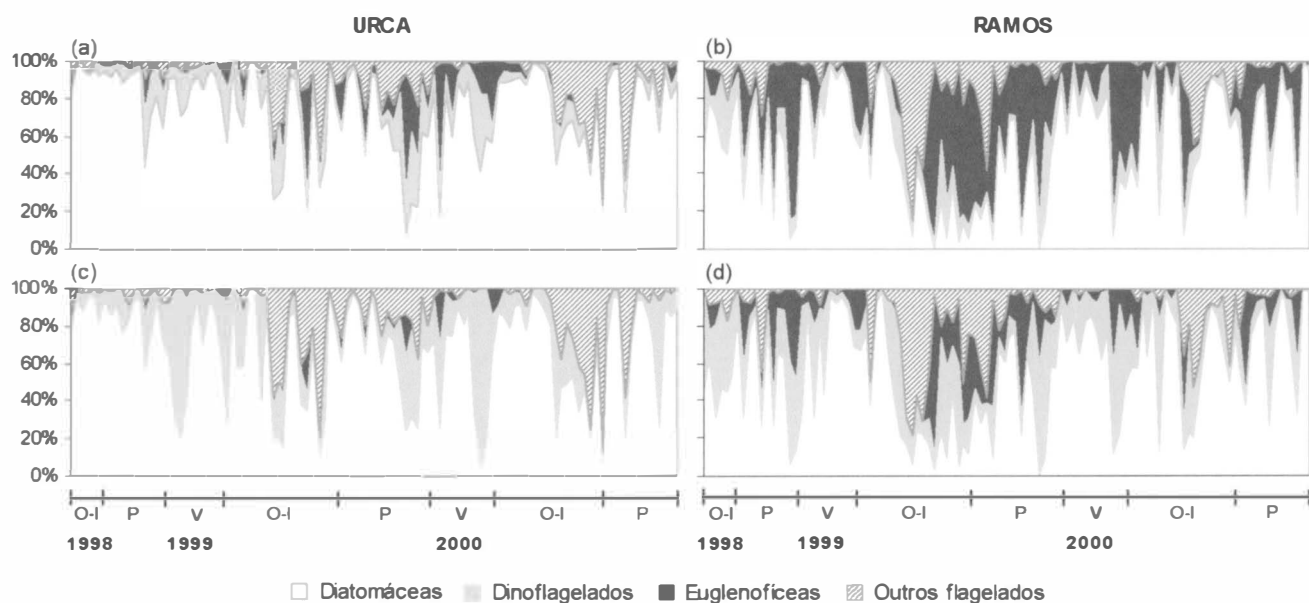


Figura 4.5. Abundância relativa dos grupos microfitoplanctônicos nos pontos Urca e Ramos (07/1998 a 12/2000): (a) e (b) densidade, (c) e (d) biomassa. Legenda: O-I = outono-inverno (abril a agosto); P = primavera (setembro a dezembro); V = verão (janeiro a março).

O microfitoplâncton foi constantemente representado por espécies R-estrategistas (diatomáceas cêntricas, *Cylindrotheca closterium*, *Leptocylindrus minimus* e *Pleurosigma* W. Smith / *Gyrosigma* Hassall), que dominaram a maior parte do tempo. Espécies S-estrategistas (flagelados, euglenofíceas e *Gymnodinium sanguineum* Hirasaka) ocorreram apenas durante períodos de maior estabilidade ambiental, algumas vezes co-dominando com R-estrategistas. De acordo com o capítulo 3 deste documento, foram encontrados 168 táxons na Urca e 69 em Ramos, com mediana de 22 e 12 táxons por amostra, respectivamente; já diversidade de organismos foi variável e geralmente maior na Urca que em Ramos (medianas = 2,43 bits.cel⁻¹ e 1,68 bits.cel⁻¹, respectivamente). As maiores riquezas e diversidades ocorreram na primavera (dado não apresentado), mas diferenças interanuais foram observadas entre os verões para ambos os pontos, através de maiores valores em 2000 (1,5 - 3,6 bits.cel⁻¹ na Urca, e 0,9 - 2,5 bits.cel⁻¹ em Ramos) . A diversidade em Ramos variou interanualmente para as estações de outono-inverno e primavera, com maiores valores ocorrendo durante os períodos com “La Niña”, devido à co-dominância de diatomáceas e flagelados.

A significância da variação interanual foi verificada através do cálculo da mediana dos dados por estação do ano, em cada ano, considerando também os valores extremos. Apenas os dados de biomassa total e de diatomáceas apresentaram variações interanuais significativas (Figura 4.6). Nos períodos de verão, maiores valores ocorreram em 1999, ano com “La Niña”. Entre as primaveras, foram observadas diferenças significativas apenas em Ramos, com menores valores durante o “La Niña”. Variações interanuais também foram observadas para os flagelados, mas a alta variabilidade destes grupos, com discrepância entre máximos e mínimos principalmente em Ramos, fez com que estas variações não fossem estatisticamente significativas.

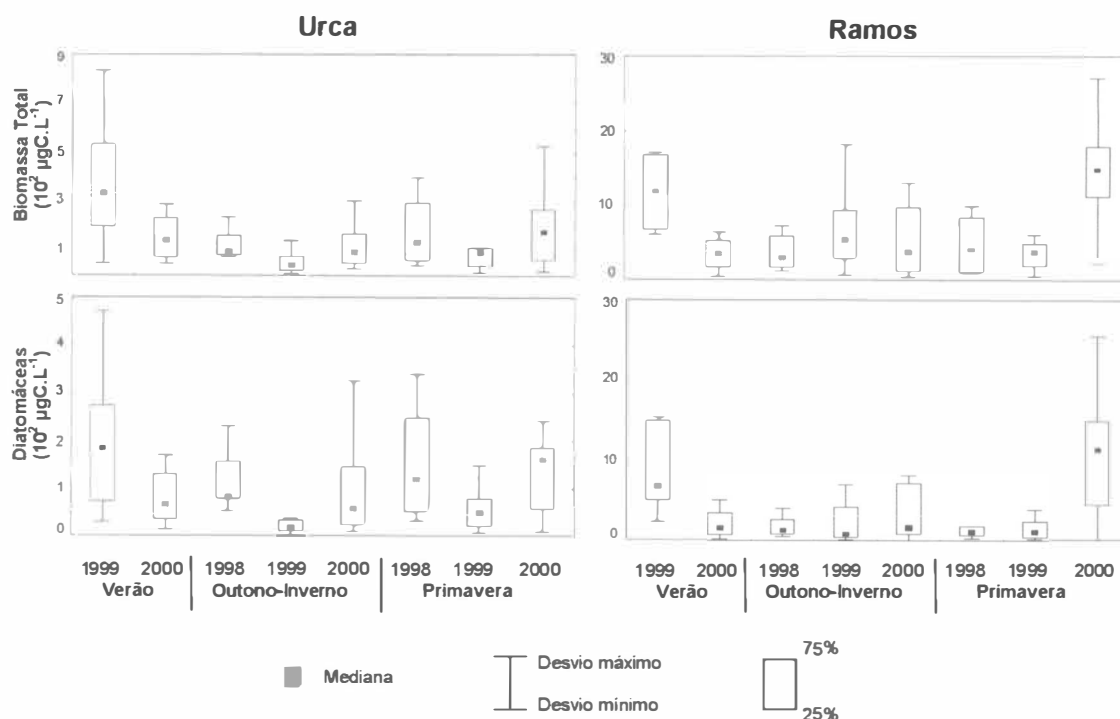


Figura 4.6. “Box plots” mostrando variações interanuais da biomassa do microfitoplâncton total e das diatomáceas nos pontos Urca e Ramos, durante o período de estudo (1998-2000). O verão inclui os meses de janeiro a março; o outono-inverno os meses de abril a agosto; e a primavera os meses de setembro a dezembro.

Apesar de observada variabilidade semanal na abundância total dos organismos, variações mais nítidas foram detectadas através da análise da contribuição dos grupos taxonômicos. As euglenofíceas (em ambos os pontos) e os dinoflagelados (em Ramos) apresentaram maior variabilidade semanal, respondendo a alterações ambientais durante todo o período estudado (Figura 4.7), enquanto que a alta variabilidade dos demais grupos esteve restrita a períodos específicos. Exceto para o grupo “outros flagelados”, todos os grupos apresentaram maiores oscilações de biomassa durante o período de maior precipitação (setembro a abril).

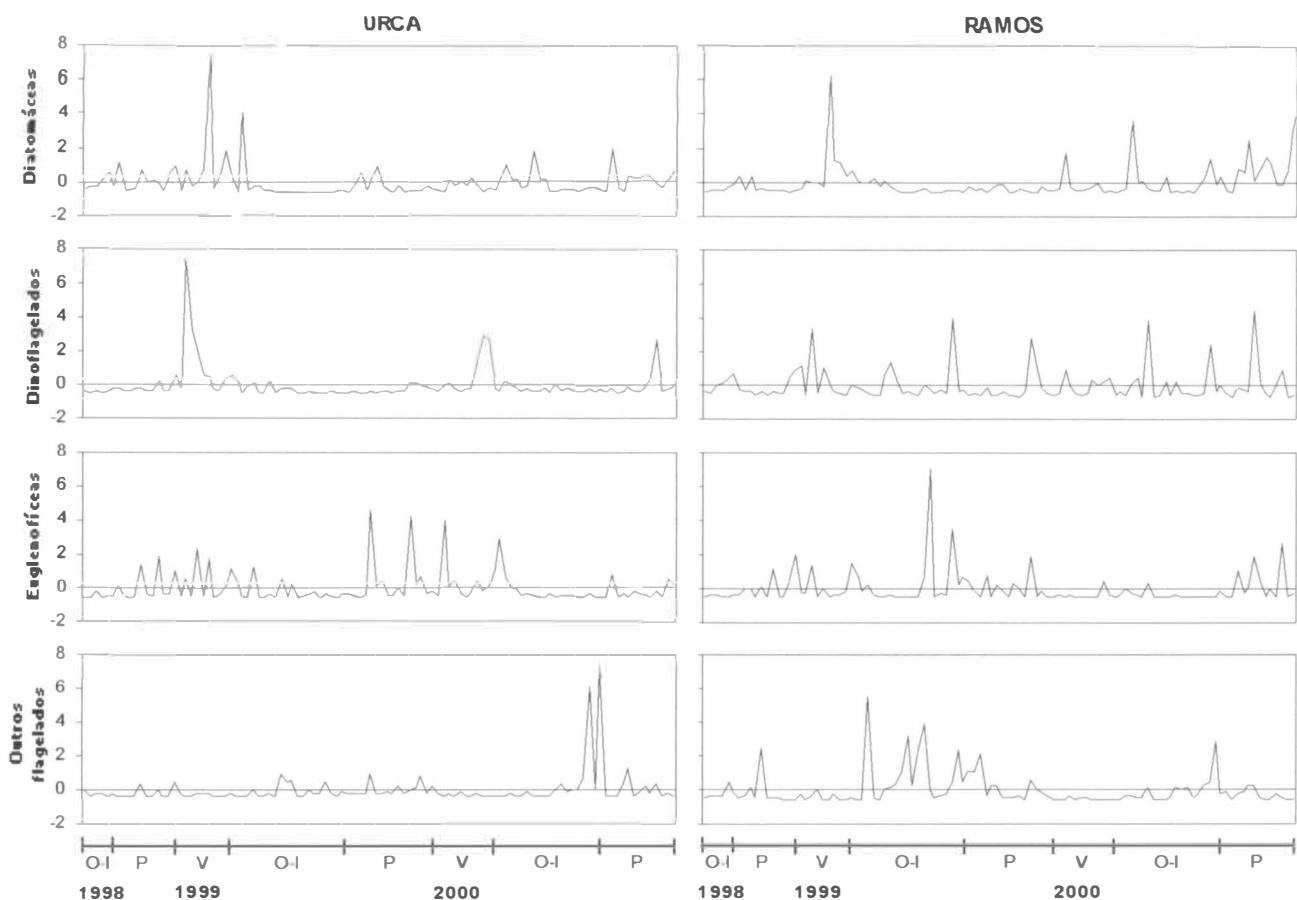


Figura 4.7. Unidade de desvio padrão da biomassa dos grupos taxonômicos nos pontos Urca e Ramos (07/1998 a 12/2000). O zero representa o valor médio do período. Legenda: O-I = outono-inverno (abril a agosto); P = primavera (setembro a dezembro); V = verão (janeiro a março).

Como as coletas foram realizadas sempre no mesmo dia da semana e no mesmo horário, os dados foram tabelados de acordo com as diferentes condições de maré (sizígia/quadratura, enchente/vazante) na tentativa de identificar uma possível influência deste fator na biomassa dos organismos (Tabela 4.2). As biomassas de euglenofíceas e “outros flagelados” foram mais relacionadas com a maré que os demais grupos taxonômicos. A biomassa total apresentou oscilações associadas à maré, principalmente durante o período de outono-inverno. De forma geral, as biomassas foram altas durante as

marés vazantes em Ramos. Na Urca, altos valores foram encontrados tanto durante as marés vazantes quanto nas enchentes.

Tabela 4.2. Condições de altas biomassas nos pontos Urca (UR) e Ramos (RA) de acordo com a maré.
Legenda: B = maré baixa; A = maré alta; V = maré vazante; E = maré enchente; S = sizígia; Q = quadratura.

PARÂMETROS	Verão		Outono-Inverno			Primavera	
	1999	2000	1998	1999	2000	1999	2000
Total – UR				AVQ	AVQ / EQ		
Total – RA			AES / AVQ		VS / VQ		BVS
Dinoflagelados – UR			AE		EQ		
Euglenofíceas – UR	EQ	EQ	AE				
Euglenofíceas – RA	AVS	VS			VS		AVQ
Flagelados – UR	AEQ / AVS	BVS		E		BEQ	AEQ
Flagelados – RA	AVS				EQ		

Correlações significativas entre os dados bióticos e abióticos foram observadas para os dois pontos (Tabela 4.3). O número de táxons esteve correlacionado positivamente com a salinidade e o nitrato, e negativamente com o fosfato e matéria orgânica. A diversidade apresentou correlações negativas com a temperatura e precipitação, e positivas com a salinidade. As medidas de abundância (densidade celular e biomassa) apresentaram correlações positivas com a temperatura em ambos os pontos. Na Urca, essas variáveis apresentaram correlações negativas com a salinidade e formas nitrogenadas, e positivas com a precipitação e matéria orgânica. Em Ramos, o material particulado em suspensão e a precipitação foram positivamente correlacionados às abundâncias totais e de diatomáceas, e negativamente às abundâncias de euglenofíceas e “outros flagelados”.

Tabela 4.3. Correlação entre variáveis bióticas e abióticas nos pontos Urca e Ramos (Urca / Ramos).

DC = densidade celular; BM = biomassa; TX = nº de taxa; DIV = índice de diversidade Shannon-Winner; T = temperatura da água; SAL = salinidade; MPS = material particulado em suspensão; NO₃ = nitrato; NIT = nitrogênio inorgânico total; PO₄ = fosfato; MOT = matéria orgânica total; MOD = matéria orgânica dissolvida.

PARÂMETROS	T	SAL	Chuva	MPS	NO ₃	NIT	PO ₄	MOB	MOD
DC total	0,5 / 0,3	-0,5 / -		- / 0,5	-0,5 / -	-0,4 / -		0,4 / -	
BM total	0,5 / 0,4	-0,5 / -	0,3 / -	- / 0,5	-0,5 / -	-0,5 / -		0,4 / -	
DC diatomáceas	0,5 / 0,4	-0,4 / -		- / 0,4	-0,4 / -	-0,4 / -		0,3 / -	
BM diatomáceas	0,5 / 0,4	-0,4 / -	- / 0,3	- / 0,4	-0,4 / -	-0,5 / -		0,4 / -	
DC euglenofíceas		-0,5 / -	0,3 / -0,3					0,4 / -	0,3 / -
BM euglenofíceas		-0,5 / -	0,3 / -					0,4 / -	0,3 / -
DC dinoflagelados	0,5 / -	-0,5 / -	0,5 / -		-0,4 / -	-0,4 / -		0,4 / -	
BM dinoflagelados	0,3 / -	-0,3 / -	0,5 / -		-0,3 / -				
DC flagelados			- / -0,3						
BM flagelados			- / -0,4						
TXtotal	-0,3 / -0,3	0,5 / 0,4					- / -0,4	-0,4 / -0,3	
TX diatomáceas		0,5 / -			- / 0,4			-0,4 / -	
TX dinoflagelados		- / 0,4					- / -0,4	- / -0,4	
DIV	-0,3 / -	- / 0,3	- / -0,5						

Discussão

Variações Sazonais

A tendência sazonal encontrada para a comunidade microfitoplanctônica da baía de Guanabara, com dominância de diatomáceas durante o verão chuvoso e aumento da contribuição de flagelados durante o outono-inverno seco, confirmou o observado em estudos pretéritos (Sevrin-Reyssac *et al.*, 1979; Villac *et al.*, 1991). Esta tendência foi mais evidente na parte interna da baía, onde há maior influência do aumento do fluxo dos rios durante períodos de alta precipitação. A conversão da densidade celular em biomassa

revelou que este padrão é ainda mais forte em termos de carbono, e que grupos taxonômicos com biovolume maior (dinoflagelados) adquirem maior importância relativa que os grupos com organismos menores (euglenofíceas). O aumento de diatomáceas durante o período chuvoso, principalmente as de pequeno porte dos gêneros *Chaetoceros* Ehrenberg, *Cyclotella* (Kützinger) Brébisson, *Leptocylindrus* Cleve, *Pseudo-nitzschia* H. Peragallo e *Thalassiosira* Cleve, pode ser atribuído à alta taxa de crescimento deste grupo em águas turbulentas e ricas em nutrientes (Margalef, 1978a). Os flagelados, como euglenofíceas, prasinofíceas e criptofíceas, foram importantes em períodos de baixa precipitação, pois a baixa turbulência da camada superficial pode provocar rápida sedimentação das diatomáceas, organismos com parede celular mais pesada e pouca autonomia de deslocamento na coluna d'água em virtude da ausência de flagelo (Hulburt, 1963). A ocorrência mais expressiva de euglenofíceas em Ramos pode ser atribuída a sua afinidade à matéria orgânica e água doce (Lackey, 1968). Na Urca, não foi verificado aumento significativo deste grupo durante o período seco e sim ocasionalmente durante o período chuvoso, especialmente em momentos com alta matéria orgânica. Este fato, associado à ecologia das euglenofíceas, indica a ocorrência de transporte de matéria orgânica, nutrientes ou mesmo das próprias euglenofíceas do interior para a entrada da baía pelo aumento do fluxo dos rios durante chuvas torrenciais. Estudos pretéritos mostraram a grande influência da descarga da baía de Guanabara nas águas costeiras do Rio de Janeiro, através de altas concentrações de nanoflagelados, cianofíceas e *Skeletonema costatum* (Greville) Cleve (Sevrin-Reyssac *et al.*, 1979; Silva *et al.*, 1988). Essa influência foi ainda maior durante o período de verão, quando a ocorrência de estratificação térmica facilitou o escoamento das águas sob condições de vento e maré favoráveis (Silva *et al.*, 1988).

Espécies microfítoplanctônicas dos três tipos de estratégias (*sensu* Reynolds, 1988) foram encontradas na baía: as C e R-estrategistas, presentes durante todo o período de estudo, e as S-estrategistas, presentes apenas durante o período de outono-inverno e eventuais quedas na

concentração de nitrogênio e fósforo dissolvidos ($< 1\mu\text{M}$). As espécies C e R-estrategistas apresentam crescimento rápido e alta razão superfície:volume, sendo as R (ruderais) aptas a explorar ambientes turbulentos e túrbidos, enquanto que as S-estrategistas (estresse-tolerantes) apresentam baixa razão superfície:volume, crescimento lento e são bem adaptadas a ambientes com escassez de nutrientes (Reynolds, 1988). A presença constante de espécies R-estrategistas na baía, representadas pelas diatomáceas, foi atribuída à alta concentração de nutrientes e a manutenção de turbulência da camada superficial mesmo durante o período de estiagem, através da influência da maré, descarga dos rios e passagem de três a oito sistemas frontais mensais, causadores de fortes ventos e chuvas ocasionais na região. As espécies C-estrategistas, constituídas por pequenos flagelados, foram encontradas em densidades menores que as R-estrategistas, pois sua maior representatividade é encontrada na fração do nanoplâncton, não contemplada neste estudo. As espécies S-estrategistas foram representadas pelas euglenofíceas e o dinoflagelado *Gymnodinium sanguineum*, estando a ocorrência de euglenofíceas associada a períodos de estabilidade ambiental (outono-inverno seco) no interior da baía, e a do *G. sanguineum* a eventuais períodos de baixa concentração de nutrientes em sua entrada.

Variações Interanuais

Estudos pretéritos indicam que as maiores riquezas, densidades e diversidades microfitoplanctônicas da baía ocorrem durante a primavera, devido à maior contribuição de diatomáceas (Villac *et al.*, 1991). No presente estudo foi encontrado padrão similar apenas durante o ano de 2000. Nos anos de 1998 e 1999, alterações na dinâmica sazonal do microfitoplâncton foram observadas através de picos de abundância durante o verão e aumento da contribuição de flagelados na primavera, principalmente em Ramos. Este fato pode ter coincidido com a ocorrência do fenômeno “La Niña” durante estes anos, quando foi observada uma irregularidade de chuvas e temperaturas (abaixo da média a maior parte do tempo). No verão de 1999, os picos de abundância podem ter sido reflexo da alta

irradiância e menores precipitações que contribuíram para um aumento da transparência. Nas primaveras de 1998 e 1999, períodos com registros de baixa pluviosidade e irradiância (INMET, 2001), o aumento de flagelados e as baixas abundâncias observadas podem ser atribuídos a maior estabilidade da camada superficial e baixa luz, respectivamente. A dominância de diatomáceas em anos chuvosos e climaticamente normais em oposição ao aumento da contribuição de flagelados durante anos mais secos foi registrada também para a baía de São Francisco (Lehman, 2000).

Alterações na comunidade fitoplanctônica durante períodos com “La Niña” não é uma resposta exclusiva da baía de Guanabara. Respostas análogas têm sido constantemente associadas ao El Niño, mas muitos efeitos podem ocorrer depois, ou seja, durante o La Niña (Arntz & Tarazona, 1988). Em 1988, o período de La Niña com baixas temperaturas e termoclina mais rasa no Pacífico Tropical coincidiu com um aumento na concentração de clorofila (Fiedler *et al.*, 1992), fato observado no verão de 1999 na baía de Guanabara. Um estudo do microfitoplâncton da baía de Guanabara em escala temporal maior é necessário para confirmar se as variações interanuais encontradas podem ser atribuídas às alterações climáticas provocadas pelo La Niña, pois: (a) alterações do plâncton devido a fenômenos climáticos podem se manter durante anos, retornando às condições normais independentemente de uma nova alteração brusca no clima; e (b) variações de longa-escala do fitoplâncton podem estar associadas a modificações climáticas graduais (Harris, 1980).

Variações de Meso Escala

As maiores oscilações semanais foram observadas principalmente durante o verão chuvoso, período de alta instabilidade ambiental devido às chuvas torrenciais, e em Ramos, ambiente sujeito a grande estresse ambiental devido a sua hipertrofia e maiores oscilações de salinidade. As diatomáceas, grupo de maior representatividade em termos de abundância, e o grupo “outros flagelados” responderam a variações de maior escala, associadas a eventos

sazonais (presença/ausência de chuvas). Já os dinoflagelados (em Ramos) e euglenofíceas (em ambos os pontos), grupos de abundância menos representativa que as diatomáceas, apresentaram oscilações de biomassa durante todo o período, sendo melhores indicadores da variabilidade ambiental da baía de Guanabara. Os dinoflagelados em Ramos foram constituídos por espécies da família Gymnodiniaceae Lankester e dos gêneros *Dinophysis* Ehrenberg, *Prorocentrum* Ehrenberg, *Oxytoxum* Stein e *Scrippsiella* Balech ex Loeblich II, que apresentam preferências e tolerâncias distintas (Taylor, 1987). Especula-se que essa variabilidade de formas de dinoflagelados permitiu que este grupo como um todo pudesse responder aos diversos tipos de distúrbios ambientais a que Ramos foi submetido. As euglenofíceas possuem afinidade com matéria orgânica (Lackey, 1968), sendo a maior parte de suas espécies encontradas em ambientes pouco salinos (Van den Hoek *et al.*, 1995). As oscilantes concentrações de matéria orgânica na Urca, e salinidades em Ramos podem ter determinado a grande variabilidade do grupo das euglenofíceas.

Mesmo à luz de uma série de dados semanais significativa (dois anos e meio), foi difícil estabelecer um padrão claro de variação do fitoplâncton em relação à maré, o que é possível apenas a partir de uma estratégia amostral em pequena escala (horas). Ainda assim, especula-se que as oscilações de maré e a ocorrência de frentes frias tenham sido os principais fatores físicos responsáveis pelas variações semanais encontradas. Alterações na química ambiental e distribuição fitoplanctônica da baía em função da maré foram registradas em estudos pretéritos (Paranhos *et al.*, 1998; Villac, 1990). O presente estudo mostrou algumas evidências de aumento na biomassa microfitoplanctônica de acordo com a maré, principalmente na Urca devido, provavelmente, a sua maior proximidade com a entrada da baía. Neste local, altas biomassas microfitoplanctônicas foram associadas ora com as marés enchentes e ora com as vazantes. As altas biomassas durante as vazantes indicam transporte de organismos das águas mais eutrofizadas do interior da baía, enquanto que durante as enchentes este fato pode estar ligado à dinâmica de circulação das águas superficiais nesta área. A entrada da corrente de maré através do

canal central pode agir no represamento das águas superficiais das enseadas próximas à entrada da baía (Villac, 1990). Em Ramos, as maiores concentrações foram encontradas nas marés vazantes, principalmente as de sizígia, indicando contribuição do microfitoplâncton da porção ainda mais interna da baía. A influência da maré nas condições físicas e químicas das águas do interior da baía é pouco evidente durante as marés de quadratura, pois neste período as correntes de maré são mais fracas que durante as marés de sizígia (Paranhos *et al.*, 1998).

A passagem de frentes frias é um fator físico de especial relevância para a região, podendo ocorrer até oito vezes no mês, dependendo do período do ano (INPE, 2002). Essas frentes são acompanhadas por mudanças na direção e força do vento, chuvas ocasionais e ressaca do mar, que geram turbulência na coluna d'água e ao mesmo tempo podem provocar acúmulo, diluição e acelerar ou retardar a sedimentação do microfitoplâncton, atuando na estrutura de sua comunidade. Estudos incluindo coletas diárias são recomendados para verificar a influência de frentes, enquanto que estudos com coletas acompanhando o ciclo da maré são necessários para definir sua influência na estrutura microfitoplanctônica do interior e entrada baía. Destaca-se a importância da realização de medições de intensidade da corrente de maré e definição de padrão de mistura e estratificação da coluna d'água em cada área.

Mecanismos Controladores

A variação temporal da biomassa fitoplanctônica de ambientes estuarinos ricos em nutrientes, é direcionada pelas forças físicas que atuam na mistura vertical (Cloern, 1991). De fato, a temporalidade do microfitoplâncton da baía de Guanabara indicou que fatores físicos, como aumento do fluxo dos rios, salinidade e maré, exerceram grande influência na distribuição e ocorrência destes organismos. Outro fator atuante é a biogeoquímica local, pois eventualmente ocorre depleção de nutrientes na superfície e, do interior para a

entrada da baía verifica-se um aumento das formas oxigenadas de nitrogênio (Paranhos *et al.*, 2001). A concentração de nitrogênio foi de especial relevância na estrutura microfitoplanctônica da Urca, pois correlações negativas da biomassa de diatomáceas foram encontradas com as formas nitrogenadas.

Em Ramos, a ausência de correlações entre biomassa e nutrientes e as variações mais intensas associadas a eventos sazonais e estresse ambiental, indica que o fitoplâncton deste ponto pode estar sendo controlado por perdas através da predação (controle descendente), escoamento hidráulico (maré e descarga de rios) e sedimentação. Na Urca, as variações podem estar mais associadas ao recurso (controle ascendente). Evidências de que a comunidade planctônica seja regida por mecanismos de perda em Ramos e de recurso na Urca foram encontradas para o bacterioplâncton (Paranhos *et al.*, 2001). Esta dinâmica só será confirmada para o microfitoplâncton a partir do detalhamento da estrutura da comunidade do protozooplâncton e realização de experimentos com a comunidade natural em condições controladas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABBOUD-ABI SAAB, M. Day-to-day variation in phytoplankton assemblages during spring blooming in a fixed stations along the Lebanese coastline. **Journal of Plankton Research**, v. 14, n. 8, p. 1099-1115, 1992.

ALPINE, A.E.; CLOERN, J.E. Trophic interactions and direct physical effects control phytoplankton biomass and production in an estuary. **Limnology and Oceanography**, v. 37, n. 5, p. 946-955, 1992.

ARNTZ, W.; TARAZONA, J. Una retrospectiva a El Niño 1982-83: Que hemos aprendido? In: SAUWEDEL, H.L., A. (Ed.). **Recursos y dinamica del ecosistema de afloramiento peruano**. Callao: 1988. p. 353-361.

AVARIA, S.; MUÑOZ, P. Effects of the 1982-1983 El Niño on the marine phytoplankton off Northern Chile. **Journal of Geophysical Research**, v. 92, n. C13, p. 14369-14382, 1987.

BARBER, R.T.; CHAVEZ, R.P. Biological consequences of El Niño. **Science**, v. 222, p. 1203-1210, 1983.

_____. et al. Primary productivity and its regulation in the equatorial Pacific during and following the 1991-1992 El Niño. **Deep-Sea Research II**, v. 43, n. 4-6, p. 933-969, 1996.

BAUGHMGARTNER, T. et al. A 20-year varve record of siliceous phytoplankton variability in the Central Gulf of California. **Marine Geology**, v. 64, p. 113-129, 1985.

BOOTH, B.C. The use of autofluorescence for analysing oceanic phytoplankton communities. **Botanica Marina**, v. 30, p. 101-108, 1987.

_____. Estimation de la biomassa del plancton autotrofico usando microscopia. In: ALVEAL, K. et al. (Ed.). **Manual de Métodos Ficológicos**. Concepción - Chile: Universidad de Concepción, 1995. p. 187-198.

BOUVY, M. et al. Dynamics of a toxic cyanobacterial bloom (*Cylindrospermopsis raciborskii*) in a shallow reservoir in the semi-arid region of northeast Brazil. **Aquatic Microbial Ecology**, v. 20, p. 285-297, 1999.

CLOERN, J.E. Tidal stirring and phytoplankton bloom dynamics in an estuary. **Journal of Marine Research**, v. 49, p. 203-221, 1991.

_____ et al. River discharge controls phytoplankton dynamics in the Northern San Francisco bay estuary. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 16, p. 415-429, 1983.

COTA, S.S.; BORREGO, S.A. The 'El Niño' effect on the phytoplankton of a North-Western Baja California Coastal Lagoon. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 27, p. 109-115, 1988.

CÔTE, B.; PLATT, T. Day-to-day variations in the spring-summer photosynthetic parameters of coastal marine phytoplankton. **Limnology and Oceanography**, v. 28, p. 320-344, 1983.

FIEDLER, P.C. et al. Physical and biological effects of Los Niños in the eastern tropical Pacific, 1986-1989. **Deep-Sea Research**, v. 39, n. 2, p. 199-219, 1992.

GARDINER, W.E.; DAWES, C.J. Seasonal variation of nannoplankton flagellate densities in Tampa bay, Florida. **Bulletin of Marine Science**, v. 40, n. 2, p. 231-239, 1987.

GEORIO. **Precipitação acumulada mensal na Urca e Ilha do Governador em 1998 - Boletim Rio Alerta**. Disponível em: <<http://www.georio.com.br>> Acesso em: mar. 1999.

_____. **Precipitação acumulada mensal na Urca e Ilha do Governador em 1999 - Boletim Rio Alerta**. Disponível em: <<http://www.georio.com.br>> Acesso em: fev. 2000.

_____. **Precipitação acumulada mensal na Urca e Ilha do Governador em 2000 - Boletim Rio Alerta**. Disponível em: <<http://www.georio.com.br>> Acesso em: jan. 2001.

GILBES, F.; LÓPEZ, J.M.; YOSHIOKA, P.M. Spatial and temporal variations of phytoplankton, chlorophyll *a* and suspended particulate matter in Mayagüez Bay, Puerto Rico. **Journal of Plankton Research**, v. 18, n. 1, p. 29-43, 1996.

HARDING JR., L.W.; PERRY, E.S. Long-term increase of phytoplankton biomass in Chesapeake bay, 1950-1994. **Marine Ecology Progress Series**, v. 157, p. 39-52, 1997.

HARRIS, G.P. Temporal and spatial scales in phytoplankton ecology. Mechanisms, methods, models, and management. **Canadian Journal of Fisheries Aquatic Science**, v. 37, p. 877-900, 1980.

HULBURT, E.M. The diversity of phytoplankton populations in oceanic, coastal and estuarine regions. **Journal of Marine Research**, v. 21, n. 2, p. 81-93, 1963.

INMET. **Dados de precipitação acumulada mensal no Estado do Rio de Janeiro entre os anos de 1961 a 1990**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br>> Acesso em: dez. 2001.

INPE. **Climanálise**. Disponível em: <<http://www.inpe.br>> Acesso em: jan. 2002.

JOINT, I.R.; POMROY, A.J. Primary production in a turbid estuary. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 13, p. 303-316, 1981.

KAMYKOWSKI, D. Possible interactions between phytoplankton and semidiurnal internal tides. **Journal of Marine Research**, v. 32, n. 1, p. 67-89, 1974.

KJERFVE, B. et al. Oceanographic characteristics of an impacted coastal bay: Baía de Guanabara, Rio de Janeiro, Brazil. **Continental Shelf Research**, v. 17, n. 13, p. 1609-1643, 1997.

LACKEY, J.B. Ecology of *Euglena*. In: BUETOW, D.E. (Ed.). **The Biology of Euglena**. New York; London: Academic Press, 1968. p. 27-43.

LEHMAN, P.W. The influence of climate on phytoplankton community biomass in San Francisco bay estuary. **Limnology and Oceanography**, v. 45, n. 3, p. 580-590, 2000.

_____; SMITH, R. W. Environmental factors associated with phytoplankton succession for the Sacramento-San Joaquin Delta and Suisan Bay estuary, California. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 32, p. 105-128, 1991.

MARGALEF, R. Life-forms of phytoplankton as survival alternatives in an unstable environment. **Oceanologica Acta**, v. 1, n. 4, p. 493-509, 1978 (a).

_____. Sampling design - Some examples. In: SOURNIA, A. (Ed.). **Phytoplankton Manual**. Paris: Page Brothers, 1978 (b). p. 17-31.

MARSHALL, H.G. Seasonal phytoplankton composition in the lower Chesapeake bay and Old Plantation Creek, Cape Charles, Virginia. **Estuaries**, v. 3, n. 3, p. 207-216, 1980.

MARTIN, L.; FLEXOR, J.M.; SUGUIO, K. Possible changes in the holocene wind pattern recorded on southeastern Brazilian Coast. **Boletim do Instituto Oceanográfico da USP - Publicação Especial**, v. 8, p. 117-131, 1991.

MAYR, L.M. et al. Hydrobiological characterization of Guanabara bay. In: Magoon, O., Neves, C. (Ed.). **Coastlines of Brazil**. New York: American Society of Civil Engineers, 1989. p. 124-138.

PARANHOS, R. et al. Coupling bacterial abundance with production in a polluted tropical coastal bay. **Oecologia Brasiliensis**, v. IX, p. 117-132, 2001.

_____; PEREIRA, A.P.; MAYR, L.M. Diel variability of water quality in a tropical polluted bay. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 50, p. 131-141, 1998.

REYNOLDS, C.S. Functional morphology and the adaptative strategies of freshwater phytoplankton. In: SANDGREEN, C.D. (Ed.). **Growth and reproductive strategies of freshwater phytoplankton**. Cambridge: Cambridge University Press, 1988. p. 288-433.

SCHUTZE, M.L.M.; MACHADO, M.C.S.; ZILLMANN, S.M.S. Phytoplankton biomass of Guanabara bay (Rio de Janeiro, Brazil) and adjacent oceanic area: variations from January through July 1979. In: FIGUEIREDO, M.R.C.; CHAO, N.L.; KIRBY-SMITH, W. (Ed.). **Proceedings of International Symposium on utilization of coastal ecosystems: planning, pollution and productivity**. FURG, 1989. p. 309-324.

SEVRIN-REYSSAC, J. et al. Biomasse et production du phytoplancton de la baie de Guanabara (État de Rio de Janeiro, Brésil) et du secteur océanique adjacent. Variations de mai à juillet 1978. **Bulletin du Museum National de Historia Natural**, v. 1, n. B4, p. 329-354, 1979.

SILVA, N.M.L.; VALENTIN, J.L.; BASTOS, T.B. O microfitoplâncton das águas costeiras do litoral fluminense (Estado do Rio de Janeiro): Lista de espécies e aspectos ecológicos. **Boletim do Instituto Oceanográfico**, v. 36, n. 1/2, p. 1-16, 1988.

TAYLOR, F.J.R. **Biology of Dinoflagellates**. Oxford: Blackwell, 1987.

UTERMÖHL, H. Perfeccionamento del metodo cuantitativo del fitoplancton. **Asociación Internacional de Limnologia Teórica y Aplicada - Comité de metodos limnológicos, comunicación**, v. 9, p. 39, 1958.

VAN DEN HOEK, C.; MANN, D.G.; JAHNS, H. **Algae - an introduction to phycology**. Cambridge: Cambridge University Press, 1995.

VERITY, P.G. et al. Relationships between cell volume and the carbon and nitrogen content of marine photosynthetic nanoplankton. **Limnology and Oceanography**, v. 37, n. 7, p. 1434-1446, 1992.

VILLAC, M.C. **O fitoplâncton como um instrumento de diagnose e monitoramento ambiental: Um estudo de caso da Baía de Guanabara**. Rio de Janeiro, 1990. 193f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Departamento de Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

_____ et al. Sampling strategies proposed to monitor Guanabara bay, RJ, Brasil. In: MAGOON, O.T. et al. (Ed.). **Coastal Zone'91**. New York: American Society of Civil Engineers, 1991.

WELLS, N.C.; GOULD, W.J.; KEMP, A.E.S. The role of ocean circulation in the changing climate. In: SUMMERHAYES, C.P.; THORPE, S.A. (Ed.). **Oceanography - An illustred guide**. Manson Publishing, 1996. p. 41-58.

WONG, M.W.; TOWNSEND, D. W. Phytoplankton and hydrography of the Kennebec estuary, Maine, USA. **Marine Ecology Progress Series**, v. 178, p. 133-144, 1999.

CAPÍTULO 5 - Variações espaciais e temporais do nanoplâncton e das bactérias filamentosas auto- e heterotróficos da baía de Guanabara¹⁰

Viviane S. Santos e M. Célia Villac

Resumo

A determinação de aspectos pré-funcionais (auto:heterotróficos e biomassa) e caracterização temporal da abundância do nanoplâncton e das bactérias filamentosas da baía de Guanabara foram realizadas com o objetivo de contribuir para o entendimento da teia trófica deste ambiente seriamente impactado pela ocupação humana em seu entorno. Foram coletadas amostras semanalmente a 0,5 m no ano de 2000, em dois pontos com salinidade e estado trófico distintos. A distinção dos heterótrofos revelou que o nanofitoplâncton pode ter sido superestimado em estudos pretéritos, de 34-99% na Urca e de 1-100% em Ramos. A densidade de autótrofos foi, em mediana, uma ordem de grandeza maior no interior da baía que na entrada, tanto para o nanoplâncton (10^8 cel.L^{-1} e 10^7 cel.L^{-1} , respectivamente) quanto para as bactérias filamentosas ($10^6 \mu\text{g.L}^{-1}$ e $10^5 \mu\text{g.L}^{-1}$, respectivamente). O mesmo padrão foi observado para a biomassa autotrófica (mediana: $10^3 \mu\text{g.L}^{-1}$ no interior e $10^1 \mu\text{g.L}^{-1}$ na entrada para o nanoplâncton, e $1,4 \mu\text{g.L}^{-1}$ na entrada e $28 \mu\text{g.L}^{-1}$ no interior para as bactérias filamentosas). Máximas abundâncias de autótrofos foram encontradas durante o período chuvoso, devido ao aumento da contribuição de cianobactérias cocóides e filamentosas. A conversão da densidade celular em biomassa foi essencial para a determinação da importância desta fração, revelando que, em termos de carbono, os organismos autotróficos são mais importantes proporcionalmente, já que apresentaram maior biovolume que os heterotróficos.

¹⁰ A ser submetido à revista *Atlantica*

Palavras-chave: nanoplâncton estuarino; bactérias filamentosas; cianobactérias; autotrofia; heterotrofia; densidade; biomassa.

Introdução

Estudos pretéritos sobre a estrutura do nanofitoplâncton (2-20 μm) da baía de Guanabara, estuário tropical com alto grau de poluição orgânica, mostraram que esta fração é de grande importância para a comunidade fitoplanctônica local, podendo contribuir com até 90% da abundância total (Sevrin-Reyssac *et al.*, 1979; Villac *et al.*, 1991). A dificuldade em analisar os flagelados nanoplanctônicos, organismos frágeis e de difícil preservação, e a ocorrência de organismos tanto auto- como heterotróficos neste grupo, torna o nanofitoplâncton da baía de Guanabara ainda pobremente conhecido em termos taxonômicos e possivelmente superestimado, já que os estudos realizados incluem os organismos heterotróficos. As cianobactérias filamentosas constituem um outro grupo importante para a baía de Guanabara, principalmente na camada superficial durante o verão chuvoso, quando são observadas as menores salinidades, e na região mais interna devido à influência da água dos rios, chegando a atingir densidades na ordem de 10^8 fil.L^{-1} (Villac *et al.*, 1991). Assim como observado para o nanoplâncton, existe uma possibilidade dos dados de densidade de cianobactérias filamentosas encontrarem-se superestimados, pois até o presente não foi realizada distinção entre as cianobactérias e as bactérias heterotróficas. O objetivo deste trabalho é contribuir para o conhecimento do nanoplâncton e bactérias filamentosas da baía de Guanabara, através do estudo das variações temporais da densidade e biomassa dos componentes auto- e heterotróficos, durante um ciclo anual, em dois pontos distintos quanto ao estado trófico e à salinidade. A determinação da biomassa destes organismos, em termos de carbono, constitui um passo fundamental para o entendimento da teia microbiana da baía de Guanabara, uma vez que são importantes tanto como produtores primários, no caso dos autótrofos, constituindo

alimento para os demais níveis tróficos, quanto como predadores de bactérias, no caso dos flagelados heterotróficos.

Metodologia

Coletas semanais durante o ano de 2000 foram realizadas na Urca (próximo à entrada da baía, mais salino e menos impactado) e em Ramos (interior da baía, menos salino e mais impactado) (Figura 5.1). Alíquotas de 5mL da amostra da água sub-superficial foram fixadas com formol a 2%, incubadas com o fluorocromo DAPI (Martinussen & Thingstad, 1991), concentradas em membranas pretas de 1.0 μm e montadas em lâminas mantidas congeladas e no escuro para a manutenção da autofluorescência da clorofila e das ficobilinas (Booth, 1995). A análise ao microscópio de epifluorescência (aumento = 1000x) foi feita com os filtros: (1) ultra-violeta ($\lambda = 360\text{-}390\text{nm}$), para a contagem das células totais visualizadas através da fluorescência induzida pelo fluorocromo DAPI; (2) azul ($\lambda = 450\text{-}490\text{nm}$), para a diferenciação das células autotróficas por autofluorescência natural da clorofila e da ficoeritrina; e (3) verde ($\lambda = 515\text{-}560\text{nm}$), para diferenciação dos organismos com ficocianina. O número de células heterotróficas foi obtido subtraindo o total de autótrofos do total de células contadas com o filtro UV. Foram contados, no mínimo, 400 organismos em um número variável de campos aleatórios. A conversão em biomassa foi feita a partir da determinação do biovolume celular (Edler, 1979; Verity *et al.*, 1992).

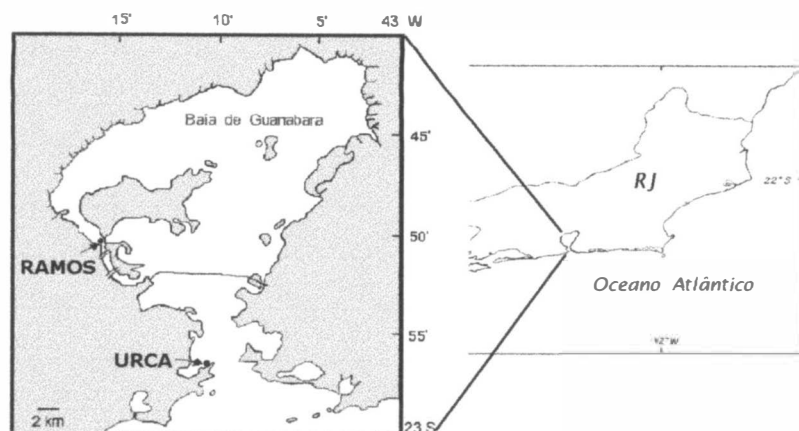


Figura 5.1. Baía de Guanabara, Rio de Janeiro (RJ), mostrando os pontos Urca e Ramos, amostrados semanalmente durante o ano de 2000.

Resultados e Discussão

Estudos pretéritos do nanoplâncton e cianobactérias filamentosas da baía registraram densidades celulares na ordem de 10^5 a 10^7 cel.L⁻¹ e 10^5 a 10^8 fil.L⁻¹, respectivamente (Barth, 1972; Sevrin-Reyssac *et al.*, 1979; Villac *et al.*, 1991). Em 2000, a densidade nanoplanctônica total esteve na ordem de 10^8 cel.L⁻¹ na maioria das amostras da Urca e de Ramos (63% e 56%, respectivamente). No restante das amostras da Urca, a densidade nanoplanctônica manteve-se na ordem de 10^7 cel.L⁻¹, enquanto que em Ramos na ordem de 10^9 cel.L⁻¹. As maiores densidades nanoplanctônicas encontradas atualmente podem ser atribuídas a dois fatores: (1) a crescente eutrofização a que este ambiente vem sendo submetido nos últimos 15 anos, evidenciado pelo incremento significativo na concentração de amônia e coliformes fecais entre 1980 e 1990, principalmente na área do ponto Ramos (Lavrado *et al.*, 1991; Paranhos *et al.*, 1995); (2) diferenças metodológicas entre os estudos anteriores (método tradicional de sedimentação) e o atual (preservação do material com maior integridade dos organismos, principalmente os nanoflagelados, e melhor visualização das células por epifluorescência). Quanto às bactérias filamentosas, foram registradas densidades na mesma faixa de variação observada em estudos pretéritos

(10^5 a 10^8 fil.L⁻¹). É provável que a densidade das cianobactérias filamentosas não tenha sido superestimada no passado, pois as bactérias filamentosas heterotróficas apresentaram diâmetro médio de $0,5\mu\text{m}$ e os estudos pretéritos consideraram apenas os filamentos de diâmetro entre $1\mu\text{m}$ e $2\mu\text{m}$ (Villac, dado não publicado).

As maiores densidades do nanoplâncton e bactérias filamentosas totais ocorreram em Ramos, interior da baía, sendo uma ordem de grandeza maiores que na Urca (Figura 5.2). No ponto Urca foram observados altos percentuais de nanoplâncton heterotrófico durante todo o período (Figura 5.2a). Somente durante o período de outono-inverno (maio a setembro), ocorreram altos percentuais de nanoplâncton heterotrófico em Ramos (Figura 5.2b) e de bactérias filamentosas heterotróficas nos dois pontos (Figuras 5.2c e 5.2d). As máximas abundâncias de autótrofos foram encontradas durante o período chuvoso (novembro a março) e início do seco (abril e maio). As altas abundâncias do nanoplâncton heterotrófico do ponto Ramos encontradas durante o outono-inverno sugerem que, em estudos anteriores, a densidade do nanofitoplâncton da região interna da baía foi mais superestimada neste período. Em áreas próximas à entrada da baía, como na Urca, este problema metodológico pode ter apresentado proporções maiores, pois altos percentuais de nanoplâncton heterotrófico foram registrados durante todo ano. O nanoplâncton da Urca foi principalmente constituído por flagelados heterotróficos, com pequeno aumento de autótrofos durante o período chuvoso.

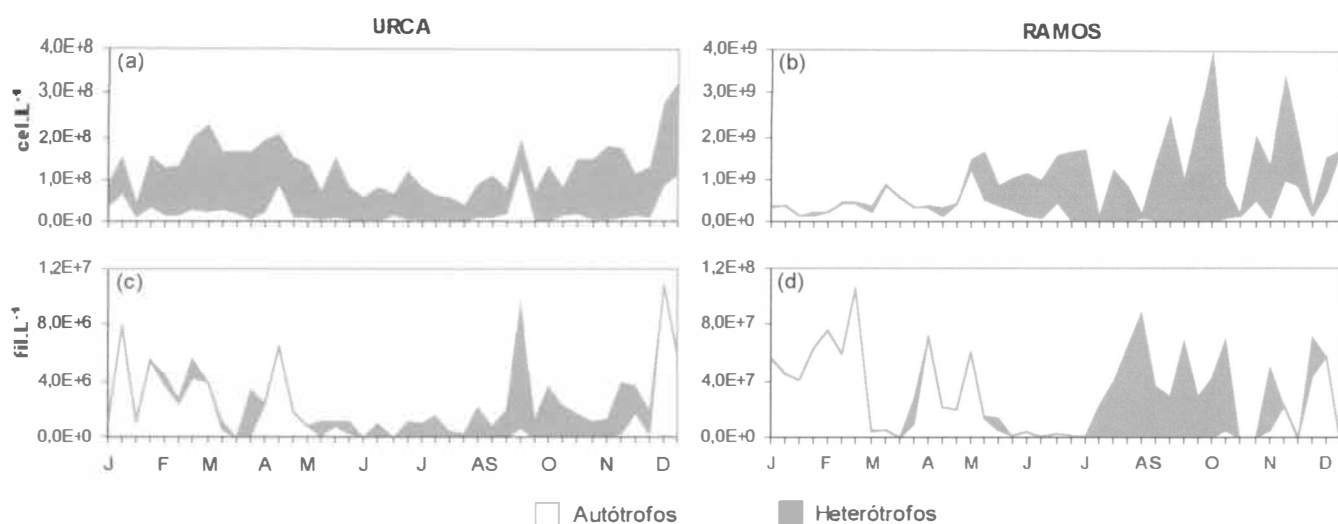


Figura 5.2. Densidade de organismos auto- e heterotróficos dos pontos Urca e Ramos: (a) e (b) nanoplâncton, (c) e (d) bactérias filamentosas.

A variação sazonal de auto- e heterótrofos foi mais marcante para as bactérias filamentosas nos dois pontos e para o nanoplâncton em Ramos. Os autótrofos constituíram quase 100% da densidade celular total durante o verão chuvoso (novembro a março) e início do outono (abril e maio), devido à ocorrência expressiva das cianobactérias cocóides do gênero *Synechocystis* (Komárek) Kovácik e filamentosas da família Pseudoanabaenaceae. Logo, durante estes períodos, é possível que a densidade nanofitoplanctônica de estudos pretéritos tenha sido pouco superestimada. O aumento de cianobactérias durante o período chuvoso está relacionado a sua alta afinidade por águas menos salinas (Fogg, 1975). Em Ramos, o aumento de cianofíceas foi mais acentuado devido às menores salinidades (promovidas pela proximidade com desembocadura de rios) e às baixas taxas de oxigênio (reflexo do lançamento de esgotos domésticos). As taxas de fotossíntese e das cianobactérias podem ser mais rápidas em baixas concentrações de oxigênio (Steward, 1962 *apud* Fogg, 1975). No outono-inverno seco, com menor irradiação solar e pouca incidência de chuvas e frentes frias, a maior estabilidade ambiental foi acompanhada por um aumento da contribuição de flagelados, principalmente heterotróficos. Os flagelados nanoplanctônicos são considerados

C-estrategistas, com vantagem adaptativa em ambientes com grande disponibilidade de recursos e baixa turbulência (Reynolds, 1988).

Durante todo o período seco, quando predominaram os flagelados heterotróficos, o nanoplâncton autotrófico foi composto por criptofíceas e diatomáceas, especialmente *Skeletonema costatum* (Greville) Cleve que apresentou densidades entre 10^5 e 10^6 cel.L⁻¹. As criptofíceas foram mais importantes na região interna da baía, o que pode estar associado à ecologia deste grupo, que possui capacidade de se desenvolver em condições adversas, como baixas luminosidade e concentração de oxigênio dissolvido e amplas faixas de variação de salinidade (Klaveness, 1988). A diatomácea *S. costatum* foi importante em ambos os pontos, mas se destacou na região interna. Apesar de sua alta importância relativa no período seco, quando as densidades da cianobactéria do gênero *Synechocystis* foram baixas, maiores densidades absolutas ocorreram durante o período chuvoso (10^6 cel.L⁻¹ na Urca e 10^7 cel.L⁻¹ em Ramos). Este padrão foi encontrado em estudo pretérito da baía (Villac, 1990), bem como em outras regiões do litoral brasileiro como p.e. baía de Paranaguá (Brandini, 1985; Brandini & Thamm, 1994; Rezende & Brandini, 1997) e região de Cananéia (Brandini, 1982), e em baías de regiões temperadas (Cloern & Cheng, 1981; Han *et al.*, 1992).

Um aumento na proporção de autótrofos foi observado após a conversão para a biomassa em ambos os pontos (Figura 5.3), pois os autótrofos foram constituídos por organismos maiores e, conseqüentemente, com maior biovolume celular. A variação espacial foi similar à encontrada para a densidade celular, ou seja, os maiores valores ocorreram em Ramos. Na Urca, a biomassa do nanoplâncton autotrófico e cianobactérias filamentosas variou de 3,7-890µgC.L⁻¹ e de 0-69µgC.L⁻¹, respectivamente. Em Ramos, as máximas biomassas autotróficas do nanoplâncton e das bactérias filamentosas foram 9.900µgC.L⁻¹ e 670µgC.L⁻¹, respectivamente. A tendência sazonal sofreu alteração principalmente para os organismos heterotróficos. Como estes apresentam menor biovolume que os

autótrofos, houve uma perda de importância dos nanoflagelados heterotróficos da Urca para todo o período. Durante o outono-inverno, os nanoflagelados heterotróficos de Ramos e as bactérias filamentosas heterotróficas de ambos os pontos não representaram picos de biomassa. A conversão da densidade celular em biomassa se mostrou essencial para determinação da importância dos componentes autótrofos, em termos de carbono, comparados aos heterótrofos.

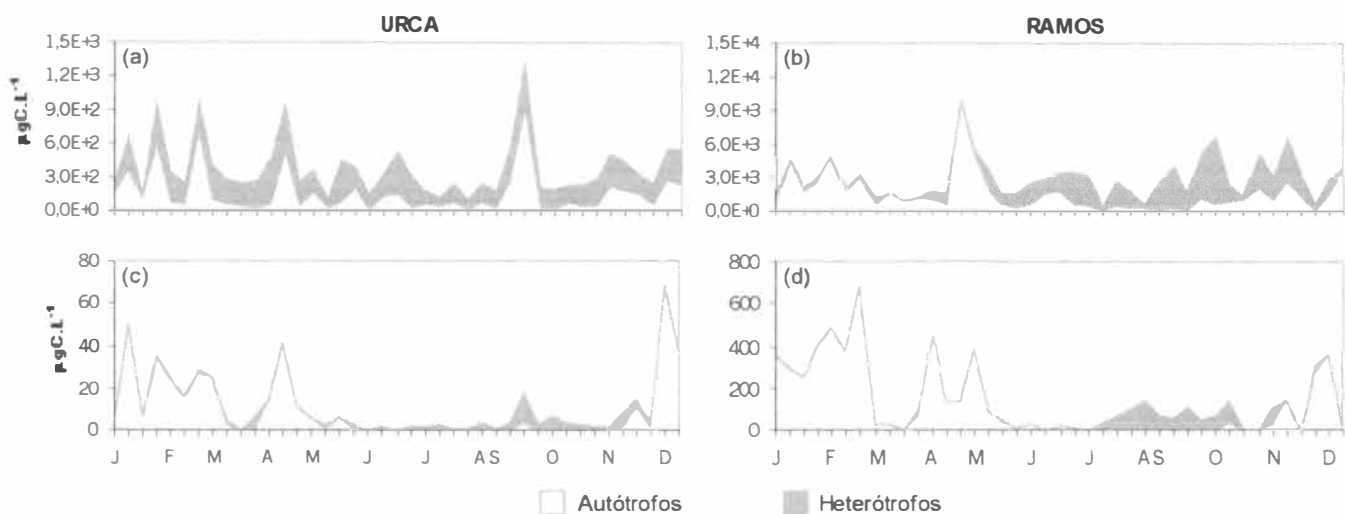


Figura 5.3. Biomassa de organismos auto- e heterotróficos dos pontos Urca e Ramos: (a) e (b) nanoplâncton, (c) e (d) bactérias filamentosas.

A ocorrência expressiva do nanofitoplâncton, em termos de densidade, está associada ao seu caráter C-estrategista, ou seja, células pequenas com alta razão superfície:volume e altas taxas de crescimento (Reynolds, 1988). Trabalhos realizados em regiões costeira e oceânica têm mencionado uma alta representatividade da fração nanofitoplanctônica em termos de clorofila e produtividade primária comparada a do microfitoplâncton (Malone, 1971a, 1971b; McCarthy *et al.*, 1974; Bruno *et al.*, 1983; Gaeta *et al.*, 1995; Han & Furuya, 2000). Na baía de Guanabara, o microfitoplâncton é menos representativo em termos de densidade celular do que o nanofitoplâncton (Sevrin-Reyssac *et al.*, 1979; Villac *et al.*, 1991). Dados de abundância da fração do microfitoplâncton durante o

mesmo período (capítulos 3 deste documento) permitiram observar baixas razões de densidade celular micro:nanoplâncton autotróficos (média: 0,04 na Urca e 0,01 em Ramos). Em termos de biomassa, entretanto, a importância relativa do nanoplâncton foi menor (média: 1,11 na Urca e 0,57 em Ramos), devido ao maior biovolume celular do microfitoplâncton. Este efeito foi mais intenso na Urca, onde os organismos microfitoplanctônicos são maiores que os de Ramos, conforme mostra o capítulo 3. Registros de contribuição nanoplanctônica similar a do microfitoplâncton, tanto em termos de densidade celular, quanto de biomassa clorofiliana e produtividade primária foram encontrados para outros sistemas costeiros como baía de Tokyo (Han & Furuya, 2000), de Chesapeake (McCarthy *et al.*, 1974) e costa do Caribe (Malone, 1971a).

Os pontos estudados são estatisticamente distintos quanto as suas características físicas e químicas (Paranhos *et al.*, 2001), com reflexos em seus estados tróficos, meso-eutrófico na Urca e hipereutrófico em Ramos (vide capítulo 3). Há evidências de que a dinâmica planctônica dos dois locais seja regida por controles diferentes: recurso (ascendente) na Urca e predação (descendente) em Ramos. A indicação do controle ascendente na Urca deve-se à ocorrência de concentrações de nutrientes abaixo do limite de detecção e à alta correlação positiva entre produção e abundância bacteriana (Paranhos *et al.*, 2001). De fato, na região da entrada da baía, observa-se variação sazonal análoga para todos os compartimentos do plâncton: pico (Paranhos *et al.*, 2001), nano e microfita (presente capítulo e capítulo 4), protozoo (Gomes *et al.*, 2001) e zooplâncton (Nogueira *et al.*, 1988). Na região mais interna, a comunidade planctônica não apresentou um padrão sazonal marcado em termos de densidade total. Especula-se a ação de uma série de mecanismos de perda em Ramos, como escoamento pelo aumento do fluxo dos rios e/ou correntes de maré, sedimentação e predação. A alternância da dominância entre os componentes auto e hetero, que exercem papéis tróficos diferentes, torna a compreensão destes mecanismos mais complexa. Esta fração é composta por organismos de várias categorias taxonômicas, com grande diversificação morfológica e metabólica (Bergesch

& Odebrecht, 2001). Somente o detalhamento da composição específica do nanoplâncton permitirá elucidar a relação das preferências e tolerâncias destes organismos com as variações ambientais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARTH, R. Observações em nano- e ultraplâncton na baía de Guanabara. **Publicação do Instituto de Pesquisas da Marinha**, v. 68, p. 1-10, 1972.

BERGESCH, M.; ODEBRESCHT, C. Characteristics and importance of planktonic flagellates in marine coastal and oceanic ecosystems. **Oecologia Brasiliensis**, v. IX, p. 173-196, 2001.

BOOTH, B.C. Estimation de la biomassa del plancton autotrófico usando microscopia. In: ALVEAL, K. et al. (Ed.). **Manual de Métodos Ficológicos**. Concepción - Chile: Universidad de Concepción, 1995. p. 187-198.

BRANDINI, F.P. Variação nictemeral de alguns fatores ecológicos na região de Cananéia (SP); Diel variations of some ecological factors in Cananéia region (SP). **Arq. Biol. Tecnol.**, v. 25, n. 3/4, p. 313-327, 1982.

_____. Seasonal succession of the phytoplankton in the bay of Paranaguá (Paraná State - Brazil). **Revista Brasileira de Biologia**, v. 45, n. 4, p. 687-694, 1985.

_____, THAMM, C.A.C. Variações diárias e sazonais do fitoplâncton e parâmetros ambientais na baía de Paranaguá. **Nerítica**, v. 8, n. 1-2, p. 55-72, 1994.

BRUNO, S.F. et al. Primary productivity and phytoplankton size fraction dominance in a temperate North Atlantic Estuary. **Estuaries**, v. 6, n. 3, p. 200-211, 1983.

CLOERN, J.E.; CHENG, R.T. Simulation model of *Skeletonema costatum* population dynamics in Northern San Francisco bay, California. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 12, p. 83-100, 1981.

EDLER, L. Recommendations for marine biological studies in the Baltic Sea - Phytoplankton and chlorophyll. **Baltic Marine Biologists**, v. 5, p. 1-39, 1979.

FOGG, G.E. **Algal cultures and phytoplankton ecology**. Wisconsin: University of Wisconsin Press, 1975.

GAETA, S.A. et al. Size-fractionation of primary production and phytoplankton biomass on inshore waters of the Ubatuba region, Brazil. **Publicação especial do Instituto Oceanográfico - USP**, v. 11, p. 153-162, 1995.

GOMES, E.A.T.; SANTOS, V.S.; VILLAC, M.C. The protozooplankton of Guanabara bay. In: **Plankton Symposium**. Espinho: 2001. p. 141.

HAN, M.; FURUYA, K. Size and species-specific primary productivity and community structure of phytoplankton in Tokyo bay. **Journal of Plankton Research**, v. 22, n. 7, p. 1221-1235, 2000.

HAN, M.; FURUYA, K.; NEMOTO, T. Species-specific productivity of *Skeletonema costatum* (Bacillariophyceae) in the inner part of Tokyo bay. **Marine Ecology Progress Series**, v. 79, p. 267-273, 1992.

KLAVENESS, D.A.G. Ecology of the Cryptomonadida: a first review. In: SANDGREEN, C.D. (Ed.). **Growth and reproductive strategies of freshwater phytoplankton**. Cambridge: Cambridge University Press, 1988. p. 105-133.

LAVRADO, H.P. et al. Evolution (1980-1990) of ammonia and dissolved oxygen in Guanabara bay, RJ, Brazil. In: MAGOON, O.T. et al. (Ed.). **Coastal Zone'91**. California: American Society of Civil Engineers, 1991. p. 3234-3245.

MALONE, T.C. The relative importance of nanoplankton and netplankton as primary producers in the California Current System. **Fishery Bulletin**, v. 69, n. 4, p. 799-820, 1971 (a).

_____. The relative importance of nanoplankton and netplankton as primary producers in tropical oceanic and neritic phytoplankton communities. **Limnology and Oceanography**, v. 16, n. 4, p. 633-639, 1971 (b).

MARTINUSSEN, I.; THINGSTAD, T.F. A simple double staining technique for simultaneous quantification of auto- and heterotrophic nano- and picoplankton. **Marine Microbial Food Web**, v. 5, n. 5, p. 5-11, 1991.

McCARTHY, J.J.; TAYLOR, W.R.; LOFTUS, M.E. Significance of nanoplankton in the Chesapeake bay estuary and problems associated with the measurement of nanoplankton productivity. **Marine Biology**, v. 24, p. 7-16, 1974.

NOGUEIRA, C.R.; BONECKER, A.C.T.; BONECKER, S.L.C. Zooplâncton da baía de Guanabara (RJ - Brasil) - Composição e variações espaço-temporais. In: **Memórias do III Encontro Brasileiro de Plâncton**. Curitiba: 1988. p. 151-156.

PARANHOS, R. et al. Coupling bacterial abundance with production in a polluted tropical coastal bay. **Oecologia Brasiliensis**, v. IX, p. 117-132, 2001.

_____; NASCIMENTO, S.M.; MAYR, L.M. On the faecal pollution in Guanabara bay, Brazil. **Fresenius Environmental Bulletin**, v. 4, p. 352-357, 1995.

REZENDE, K.R.V.; BRANDINI, F.P. Variação sazonal do fitoplâncton na zona de arrebentação da Praia de Pontal do Sul (Paranaguá - Paraná). **Nerítica**, v. 11, p. 49-62, 1997.

REYNOLDS, C.S. Functional morphology and the adaptative strategies of freshwater phytoplankton. In: SANDGREEN, C.D. (Ed.). **Growth and reproductive strategies of freshwater phytoplankton**. Cambridge: Cambridge University Press, 1988. p. 288-433.

SEVRIN-REYSSAC, J. et al. Biomasse et production du phytoplancton de la baie de Guanabara (État de Rio de Janeiro, Brésil) et du sector océanique adjacent. Variations de mai à juillet 1978. **Bulletin du Museum National de Historia Natural**, v. 1, n. B4, p. 329-354, 1979.

VERITY, P.G. et al. Relationships between cell volume and the carbon and nitrogen content of marine photosynthetic nanoplankton. **Limnology and Oceanography**, v. 37, n. 7, p. 1434-1446, 1992.

VILLAC, M.C. **O fitoplâncton como um instrumento de diagnose e monitoramento ambiental: Um estudo de caso da Baía de Guanabara**. Rio de Janeiro, 1990. 193f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Departamento de Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

VILLAC, M.C. et al. Sampling strategies proposed to monitor Guanabara bay, RJ, Brasil. In: MAGOON, O.T. et al. **Coastal Zone'91**. New York: American Society of Civil Engineers, 1991.

CAPÍTULO 6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Todas as hipóteses testadas neste trabalho foram confirmadas. Comentários e conclusões tecidos a partir das hipóteses serão apresentados ao longo deste capítulo, integrando os resultados dos capítulos anteriores, de modo a permitir uma compreensão global da dinâmica fitoplanctônica nos dois pontos estudados durante o período de julho de 1998 a dezembro de 2000.

▪ **O fitoplâncton refletiu os diferentes graus de poluição dos pontos estudados?**

As diferenças no grau de poluição e dinâmica de circulação das águas dos pontos selecionados determinaram estados tróficos distintos (meso-eutrófico na Urca e hipereutrófico em Ramos) quanto ao nitrogênio total, de acordo com a classificação de HAKANSON (1994). A comunidade fitoplanctônica também representou um bom descritor do estado trófico local, apresentando diferentes características estruturais e pré-funcionais em cada ponto de coleta:

1. maiores densidades e biomassas do microfitoplâncton, nanoplâncton e bactérias filamentosas em Ramos;
2. maior razão do microfitoplâncton auto:heterotrófico na Urca, principalmente em termos de densidade celular;
3. maiores razões de auto:heterótrofos para o nanoplâncton e bactérias filamentosas em Ramos, devido às altas concentrações de cianobactérias cocóides e filamentosas;
4. maiores valores de riqueza e diversidade microfitoplanctônica na Urca;
5. em Ramos, a comunidade microfitoplanctônica esteve composta por organismos de pequeno porte (20 μ m), com co-dominância de diatomáceas

cêntricas solitárias e flagelados, especialmente euglenófitas (indicador de poluição orgânica);

6. na Urca, a comunidade microfítotoplanctônica apresentou maior variedade de diatomáceas, incluindo as maiores que 30µm e/ou formadores de cadeia.

A classificação trófica de Urca e Ramos reforçou as evidências de que a dinâmica planctônica deve ser controlada por mecanismos distintos. Conforme indicado para o picoplâncton (PARANHOS et al., 2001), enquanto nas águas da entrada o que controla o plâncton são os recursos (controle ascendente), no interior o controle é exercido por predação (controle descendente) e mecanismos de perda como sedimentação e escoamento hidráulico por correntes de maré e descarga dos rios.

▪ O fitoplâncton refletiu as diferentes salinidades dos pontos estudados?

A salinidade constituiu um outro fator importante na determinação das variações espaciais, observadas através:

1. da presença de táxons tipicamente marinhos na enseada da Urca (maior influência das águas costeiro-marinhas);
2. do maior desenvolvimento de cianobactérias e euglenófitas em Ramos (menores salinidades, também apresenta alta poluição orgânica).

Cianobactérias, euglenófitas, criptófitas e a diatomácea *Skeletonema costatum* foram confirmados como bons indicadores da influência da água doce, conforme observado em estudos pretéritos (SEVRIN-REYSSAC et al., 1979; VILLAC, 1990), devido as suas maiores ocorrências em Ramos e ao aumento de suas concentrações superficiais durante os períodos de chuva, inclusive na Urca.

▪ **Dados pretéritos da densidade celular *fitoplanctônica* foram superestimados?**

A distinção dos organismos verdadeiramente autotróficos permitiu observar que as densidades fitoplanctônicas de estudos pretéritos foram superestimadas, mas de maneira diferenciada conforme a fração, o ponto de coleta e a estação climática:

1. o micro e, principalmente, o nanofitoplâncton foram superestimados em estudos anteriores;
2. é possível que as cianobactérias filamentosas não tenham sido superestimadas, porque as densidades dos filamentos autotróficos foram semelhantes às encontradas em estudos anteriores, e os filamentos heterotróficos apresentaram diâmetro médio menor que o registrado para as formas consideradas em trabalhos pretéritos;
3. a superestimativa do microfitoplâncton pode ter sido maior na parte mais interna da baía, em períodos com maiores concentrações de matéria orgânica dissolvida; para o nanoplâncton, o mesmo pode ter ocorrido durante quase todo o ciclo anual na entrada da baía e apenas durante o período seco na parte interna.

Após conversão da densidade celular em biomassa, a proporção relativa dos heterótrofos do microfitoplâncton se tornou maior, enquanto que a do nanoplâncton menor, mostrando a real importância dos autótrofos para cada fração. A biomassa, em termos de carbono, apesar de representar um parâmetro estático, é de extrema relevância para acompanhar a evolução das condições ambientais da baía, servindo de subsídio para estudos de modelagem da teia trófica da baía de Guanabara necessários para a compreensão da relação de transferência de energia neste sistema.

▪ **A tendência sazonal do *fitoplâncton* foi semelhante entre os pontos?**

A sazonalidade do fitoplâncton da baía de Guanabara seguiu o regime climático da região, definido por um período de maior pluviosidade e descarga dos rios no verão. Tendência sazonal similar entre os pontos foi encontrada apenas para o microfitoplâncton e as bactérias filamentosas em termos de abundância. Em termos de composição taxonômica, o nano e o microfitoplâncton apresentaram tendência sazonal distinta. Foram observadas as seguintes tendências:

1. maior contribuição das formas autotróficas do nanoplâncton e bactérias filamentosas durante o período chuvoso (verão) e do microfitoplâncton durante a primavera (2000);
2. o nanoplâncton autotrófico foi composto principalmente por cianobactérias cocóides durante o período chuvoso e criptofíceas e diatomáceas no período seco;
3. no microfitoplâncton autotrófico, ocorreram maiores proporções de flagelados durante o período seco e as diatomáceas dominaram de forma mais expressiva durante o período chuvoso, confirmando seu caráter R-estrategista;
4. as formas heterotróficas do nanoplâncton e bactérias filamentosas de Ramos variaram de acordo com o regime climático da região, apresentando maiores abundâncias durante o período seco (outono-inverno);
5. na entrada da baía, as altas proporções do microfitoplâncton heterotrófico ocorreram no período chuvoso, quando houve registros de aumento da poluição orgânica.

O gradiente espacial e tendências temporais do fitoplâncton total da baía de Guanabara já eram conhecidos (SEVRIN-REYSSAC et al., 1979; MAYR et al., 1989;

VILLAC et al., 1991) e foram confirmados neste trabalho. A distinção dos organismos auto e heterotróficos foi fundamental na identificação da sazonalidade distinta entre a entrada da baía e seu interior, principalmente observada para o nanoplâncton, introduzindo uma nova questão no comportamento sazonal do fitoplâncton de acordo com o gradiente de trofia e salinidade.

▪ **O fitoplâncton de Ramos apresentou maior variabilidade temporal?**

O alto estresse ambiental do ponto Ramos, determinado pela hipertrofia e maiores oscilações de salinidade, condicionou maior variabilidade do fitoplâncton desta região, principalmente durante o período chuvoso. As oscilações na abundância do microfitoplâncton foram maiores que na do nanoplâncton, mostrando que a fração maior pode ser melhor indicadora da variabilidade ambiental. Dentre os organismos do microfitoplâncton autotrófico, os dinoflagelados e as euglenofíceas apresentaram maiores oscilações. Os dinoflagelados foram compostos por espécies com diferentes preferências e tolerâncias (p.e. *D. acuminata*, *G. sanguineum*, *O. gracile*, *P. micans*, *S. trochoidea*; TAYLOR, 1987), o que permitiu detectar variações do grupo como um todo. Para avaliar se a variabilidade do grupo das euglenofíceas se deve a esta mesma razão, será preciso o detalhamento de sua composição específica.

▪ **O microfitoplâncton apresentou tendência sazonal distinta nos anos “La Niña”?**

A avaliação das tendências sazonais do microfitoplâncton autotrófico da baía de Guanabara mostrou que os anos de 1998 e 1999 (“La Niña”) apresentaram padrão distinto do encontrado para a baía durante o ano de 2000 e em estudos pretéritos. Foram observadas as seguintes anomalias:

1. primaveras de 1998 e 1999 com menor abundância total de autótrofos e altas contribuições de euglenofíceas e outros flagelados, principalmente em Ramos;

2. pico de densidade microfitoplanctônica em 1999 ocorrendo no verão em vez da primavera.

Essas anomalias coincidiram com o ‘La Niña’, mas é prematuro atribuí-las a este fenômeno oceanográfico. A escala de coleta das amostras do plâncton deve ser adequada à escala do fenômeno que se deseja detectar (MARGALEF, 1978; DUCKLOW, 1984; SMETACEK, 1986). Somente estudos reunindo uma grande série de dados, incluindo períodos climaticamente normais e vários eventos de ‘La Niña’ e ‘El Niño’, podem confirmar tal especulação.

▪ **Em que este trabalho contribuiu para o conhecimento do fitoplâncton da baía?**

A aplicação de um índice de estado trófico nos ambientes estudados categoriza a variabilidade ambiental da baía de Guanabara em um contexto mais pragmático, importante para os tomadores de decisão. Uma das metas do programa PRONEX no qual este projeto está inserido é fornecer subsídios para o monitoramento do Programa de Despoluição da Baía de Guanabara, atualmente em andamento.

A utilização de novas metodologias de estudo (microscopia de epifluorescência) e de estratégia amostral semanal por longo período de tempo, adicionaram uma nova dimensão à compreensão da dinâmica fitoplanctônica local. O estudo de aspectos pré-funcionais (distinção auto/hetero e biomassa) permitiu avaliar a verdadeira contribuição das formas autotróficas, revelando que a abundância do microfitoplâncton, em termos de biomassa, pode ser tão importante quanto a do nanofitoplâncton neste ambiente, ao contrário do observado para a densidade celular tanto neste estudo quanto nos pretéritos. A estimativa da biomassa dos compartimentos auto e heterotrófico das frações do nano e microfitoplâncton representou um passo em direção à evolução da compreensão da teia trófica deste ambiente, pois esta medida de abundância é peça importante para os estudos de modelagem de teia trófica.

▪ O que ainda precisa ser feito?

Maiores evoluções em direção à compreensão da complexa dinâmica fitoplânctônica da baía de Guanabara, em seus distintos estados tróficos, serão obtidas através da realização de estudos que associem taxonomia, forma e função dos organismos.

A identificação dos flagelados nus e das cianobactérias constitui uma lacuna do conhecimento da estrutura fitoplanctônica local. Os flagelados, em especial, apresentam representantes em diversas categorias taxonômicas, com formas auto e heterototróficas, sugerindo a grande variação de preferências e tolerâncias destes organismos. Para associar a ecologia das espécies de flagelados e cianobactérias às variações espaciais e temporais de cada grupo é necessária a realização de um refinamento taxonômico dos seus componentes.

A avaliação da comunidade fitoplanctônica através de grupamentos morfo-funcionais é um outro aspecto a ser considerado. Este estudo revelou que as diatomáceas foram dominantes em ambos os estados tróficos, mas com marcantes diferenças na morfologia das espécies (tamanho e formação de cadeia) de um estado trófico para outro. Isto indica que é possível que a análise da morfologia das células possa refletir melhor as condições ambientais que os grandes grupos taxonômicos.

Aspectos funcionais da comunidade fitoplanctônica são ainda pouco conhecidos na baía de Guanabara, sendo encontrados poucos registros de produção primária para o fitoplâncton como um todo (SEVRIN-REYSSAC *et al.*, 1979; REBELLO *et al.*, 1988; RODRIGUES, 1988). Medidas de produção primária fracionada confirmarão se o nano e o microfitoplâncton apresentam importância similar na baía, como encontrado para a abundância em termos de biomassa. A produção primária permitirá ainda avaliar o estado trófico dos pontos estudados a partir de uma característica do próprio processo de eutrofização (incremento de matéria orgânica no ambiente; segundo NIXON, 1995), e não a partir de parâmetros que constituem a causa (nutrientes) ou consequência (clorofila *a* e modificação da composição fitoplanctônica) deste processo.

Explicações mais claras a cerca dos mecanismos que controlam a abundância e composição do fitoplâncton na baía de Guanabara serão obtidas através de estudos multidisciplinares considerando as características físicas e químicas condicionantes da distribuição do fitoplâncton local, em conjunto com os aspectos estruturais e funcionais de todas as frações (pico, nano e micro) e componentes (bactérias, microalgas, protozoários) que constituem a teia microbiana.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DUCKLOW, H.W. Geographical ecology of marine bacteria: physical and biological variability at the mesoscale. In: REDDY, E.A.; KLUG, M.J. (Ed.). **Current perspectives in microbial ecology**. 1984. p. 2231.

HAKANSON, L. A. review of effect-dose-sensitivity models for aquatic ecosystems. **Internationale Revue der Gesamten Hydrobiologie**, v. 79, p. 621-667, 1994.

MARGALEF, R. Sampling design - Some examples. In: SOURNIA, A. (Ed.). **Phytoplankton Manual**. Paris: Page Brothers, 1978. p. 17-31.

MAYR, L.M. et al. Hydrobiological characterization of Guanabara bay. In: MAGOON, O.; NEVES, C. (Ed.). **Coastlines of Brazil**. New York: American Society of Civil Engineers, 1989. p. 124-138.

NIXON, S.W. Coastal marine eutrophication: a definition, social causes, and future concerns. **Ophelia**, v. 41, p. 199-219, 1995.

PARANHOS, R. et al. Coupling bacterial abundance with production in a polluted tropical coastal bay. **Oecologia Brasiliensis**, v. IX, p.117-132, 2001.

REBELLO, A.L.; PONCIANO, C.R.; MELGES, L.H. Avaliação da produtividade primária e da disponibilidade de nutrientes na Baía de Guanabara. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 60, n. 4, p. 419-430, 1988.

RODRIGUES, M.B.P.F. **Estudo da produção primária na baía de Guanabara, RJ**. Rio de Janeiro: 1988. 40f. Monografia (Bacharelado em Biologia Marinha) – Instituto de Biologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

SEVRIN-REYSSAC, J. et al. Biomasse et production du phytoplancton de la baie de Guanabara (État de Rio de Janeiro, Brésil) et du secteur océanique adjacent. Variations de mai à juillet 1978. **Bulletin du Museum National de Historia Natural**, v. 1, n. B4, p. 329-354, 1979.

SMETACEK, V.S. Impact of freshwater discharge on production and transfer of materials in the marine environment. **NATO ASI Series**, v. G7, p.85-106, 1986.

TAYLOR, F.J.R. **Biology of Dinoflagellates**. Oxford: Blackwell, 1987.

VILLAC, M.C. **O fitoplâncton como um instrumento de diagnose e monitoramento ambiental: Um estudo de caso da Baía de Guanabara.** Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro/Departamento de Geografia, 1990. 193p. Mestrado.

_____ et al. Sampling strategies proposed to monitor Guanabara bay, RJ, Brasil. In: MAGOON, O.T. et al. (Ed.). **Coastal Zone'91.** New York: American Society of Civil Engineers, 1991.

APÊNDICE

APÊNDICE 1 - LISTA DOS TÁXONS MICROFITOPLANCTÔNICOS ENCONTRADOS NA URCA E EM RAMOS, COM INDICAÇÃO DOS FREQUÊNTES (F), CONSTANTES (C) E ABUNDANTES (A). FORAM CONSIDERADOS FREQUÊNTES E CONSTANTES OS TÁXONS COM OCORRÊNCIA DE 50-80% E >80% DAS AMOSTRAS, RESPECTIVAMENTE, E ABUNDANTES OS COM DENSIDADE MAIOR QUE A DENSIDADE MÉDIA DOS ORGANISMOS CONSIDERADOS NO CÁLCULO (LOBO E LEIGHTON, 1986).

1.1. Táxons Autotróficos (continua...)

DIATOMÁCEAS (Classe Bacillariophyceae)	URCA	RAMOS
<i>Achnanthes taeniata</i> Grunow		x
<i>Achnanthes</i> sp. Bory de St. Vincent	x	
<i>Actinoptychus senarius</i> (Ehrenberg) Ehrenberg	x	
<i>Amphora</i> cf. <i>angusta</i> Gregory		x
<i>A. exigua</i> Gregory	x	
<i>A. cf. fluminensis</i> Grunow	x	
<i>Amphora</i> sp. Ehrenberg	x	
<i>Asterionellopsis gracialis</i> (Castracane) F. E. Round	x	
<i>Asteromphalus flabelatus</i> (Brébisson) Greville	x	
<i>Asteromphalus</i> sp. Ehrenberg	x	
<i>Attheya septentrionalis</i> (Ostrup) Crawford	x	
<i>Attheya</i> sp. T. West	x	
<i>Bacillaria paxillifera</i> (O. F. Müller) Hendeby	x	
<i>Bacteriastrium delicatulum</i> Cleve	x	
<i>B. furcatum</i> Shadbolt	x	
<i>Biddulphia</i> spp. Gray	x	
Cêntricas não identificadas (20µm)	(C, A)	(C, A)
Cêntricas (28 - 35 µm)	(F)	(F)
Cêntricas (38 - 50 µm)	x	x
Cêntricas (60 - 70 µm)	x	
<i>Cerataulina bicomis</i> (Ehrenberg) Hasle	x	x
<i>C. pelagica</i> (Cleve) Hendeby	(A)	x
<i>Cerataulina</i> spp. H. Peragallo ex Schütt	(F, A)	x
<i>Chaetoceros</i> cf. <i>cetaspurus</i> Ostensfeld	x	
<i>C. curvisetus</i> Cleve	x	x
<i>C. decipiens</i> Cleve	x	
<i>C. didymus</i> Ehrenberg	x	
<i>C. lorenzianus</i> Grunow	x	
<i>C. peruvianus</i> Brightwell	x	
<i>C. similis</i> Cleve	x	
<i>C. cf. simplex</i> Ostensfeld	x	
<i>Chaetoceros</i> spp. Ehrenberg	x	x
<i>Cocconeis disrupta</i> var. <i>flexella</i> (Jan. & Rabh.) Grunow	x	
<i>C. cf. disruptoides</i> Hustedt	x	
<i>C. cf. distans</i> Gregory	x	
<i>C. cf. grata</i> Schmidt	x	
<i>C. nummulana</i> (Greville) Peragallo	x	
<i>C. cf. lyra</i> Schmidt	x	
<i>C. cf. pinnata</i> Gregory	x	
<i>Cocconeis</i> spp. Ehrenberg	x	
<i>Corethron criophilum</i> Castracane	x	
<i>Coscinodiscus</i> sp. Ehrenberg	x	
<i>Cyclotella litoralis</i> Lange & Syvertsen	x	x
<i>C. striata</i> Kützting	x	x

1.1. Táxons Autotróficos (continua...)

DIATOMACEAS (Classe Bacillariophyceae)	URCA	RAMOS
<i>Cylindrotheca closterium</i> (Ehrenberg) Lewin & Reimann	(C, A)	(F, A)
<i>Dactyliosolen fragilissimus</i> (Bergon) Hasle	x	x
<i>Dactyliosolen phuketensis</i> (Sundström) Hasle	(A)	x
<i>Dactyliosolen</i> spp. Castracane	x	
<i>Dimmerogramma marinum</i> Gregory	x	
<i>Diploneis bombus</i> Ehrenberg	x	
<i>Diploneis</i> sp. Cleve	x	
<i>Dytilum brightwellii</i> (West) Grunow	x	
<i>Dytilum</i> sp. J.W. Bailey ex L.W. Bailey	x	
<i>Epithemia</i> sp. Brébisson ex Kützing	x	
<i>Eucampia comuta</i> (Cleve) Grunow	x	
<i>Eucampia</i> sp. Ehrenberg	x	x
Flagillariaceae Greville	x	
<i>Flagillariopsis doliolus</i> (Wallich) Medlin & Sims	x	x
<i>Flagillariopsis</i> sp. Hustedt in A.Schmidt	x	
<i>Grammatophora marina</i> (Lyngbye) Kützing	x	
<i>Guinardia delicatula</i> (Cleve) Hasle	x	x
<i>G. flaccida</i> (Castracane) H. Peragallo	x	
<i>G. striata</i> (Stolterfoth) Hasle	x	x
<i>Haslea cf. trompii</i> (Cleve) Simonsen	x	
<i>Haslea</i> sp. Simonsen	x	
<i>Helicotheca</i> sp. Ricard	x	
<i>Hemiaulus hauckii</i> Grunow	x	x
<i>H. membranaceus</i> Cleve	x	
<i>H. sinensis</i> Greville	x	
<i>Leptocylindrus danicus</i> Cleve	(F, A)	x
<i>L. mediterraneus</i> (H. Peragallo) Hasle	x	
<i>L. minimus</i> Gran	(F, A)	(A)
<i>Licmophora cf. lyngbyei</i> Lyngbye	x	
<i>Lyrella atlantica</i> (Schmidt) Mann	x	
<i>L. clavata</i> (Gregory) Mann	x	
<i>Melosira</i> sp. Agardh	x	
Naviculaceae Kützing	x	x
<i>Navicula cf. peregrina</i> (Ehrenberg) Kützing		x
<i>N. transitans</i> var. <i>derasa</i> f. <i>delicatula</i> Heimdal	x	
<i>Navicula</i> sp. Kützing		x
<i>N. longissima</i> (Brébisson) Ralfs	x	
<i>N. punctata</i> var. <i>coarctata</i> Grunow	x	
<i>N. punctata</i> var. <i>elongata</i> Hassall	x	
<i>N. cf. socialis</i> Gregory	x	
<i>N. spathula</i> Brébisson ex W. Smith	x	
<i>N. spathula</i> var. <i>hyalina</i> (Gregory) Grunow	x	
<i>N. cf. triblionella</i> var. <i>levidensis</i> (W. Smith) Grunow		x
<i>Odontella aurita</i> (Lyngbye) C. A. Agardh	x	
<i>O. mobiliensis</i> (Bailey) Grunow	x	
<i>Odontella</i> sp. C.*Agardh	x	
<i>Paralia sulcata</i> (Ehrenberg) Cleve	x	x
Penatas não identificadas	(F, A)	x
<i>Pleurosigma</i> W. Smith / <i>Gyrosigma</i> Hassall	(F, A)	x
<i>Pleurosigma cf. diverse-striatum</i> Meister	x	
<i>P. normanii</i> Ralfs	x	
<i>Pleurosigma</i> sp. W. Smith	x	
<i>Proboscia alata</i> (Brightwell) Sundström	x	
" <i>Pseudo-nitzschia delicatissima</i> " Hasle	(F)	x
<i>P. cf. fraudulenta</i> (Cleve) Hasle	x	
<i>P. multistriata</i> (Takano) Takano	x	x

1.1. Táxons Autotróficos (continua...)

DIATOMÁCEAS (Classe Bacillariophyceae)	URCA	RAMOS
<i>Pseudo-nitzschia pungens</i> Hasle	x	
" <i>P. serata</i> " Hasle	(F, A)	x
<i>Rhaphoneis cf. nitida</i> (Gregory) Grunow	x	
Rhizosoleniaceae Petit	x	
<i>Rhizosolenia cf. debyana</i> H. Peragallo	x	x
<i>R. fragilissima</i> Bergon	x	
<i>R. hebetata</i> Bailey	x	x
<i>R. cf. hyalina</i> Ostenfeld in Ostenfeld & Schmidt	x	
<i>R. cf. imbricata</i> Brighwell	x	
<i>R. pungens</i> Cleve-Euler	x	x
<i>R. setigera</i> Brightwell	x	
<i>R. styliformis</i> Brightwell	x	x
<i>Skeletonema</i> sp. Greville	x	
<i>Staurophora cf. elata</i> (Hustedt ex R. Simonsen) D.G. Mann	x	
<i>Synedra tabulata</i> var. <i>acuminata</i> (Ag.) Kützling	x	
Thalassionemataceae Round	x	
<i>Thalassionema bacillare</i> (Heiden in Heiden & Kolbe)	x	x
<i>T. nitzschoides</i> (Grunow) Mereschkowsky	x	x
<i>Thalassionema</i> spp. Grunow ex Mereschkowsky	(A)	x
<i>Thalassiosira cf. gravida</i> Cleve	x	
<i>T. cf. hyalina</i> (Grunow) Gran	x	
<i>T. lineata</i> Jousé	x	
<i>T. cf. minuscula</i> Krasske	x	x
<i>T. rotula</i> Meunier	x	x
<i>Thalassiosira</i> spp. Cleve	(A)	(F, A)
<i>Thalassiothrix gibberula</i> Hasle	x	
<i>Thalassiothrix cf. longissima</i> Cleve & Grunow	x	
Grupo <i>Tropidoneis</i> Paddock & Sims	x	x
DINOFLAGELADOS (Classe Dinophyceae)	URCA	RAMOS
<i>Amphidinium</i> spp. Claparède & Lachmann	x	x
<i>Centrodinium</i> spp. Kofoed	x	x
<i>Ceratium falcatum</i> (Kofoed) Jörgensen	x	
<i>Ceratium furca</i> [Ehrenberg] Claparède & Lachmann	x	
<i>Dinophysis cf. acuminata</i> Claparède & Lachman	x	x
<i>Dinophysis</i> spp. Ehrenberg	x	x
Dinos tecados não identificados	(F, A)	(F, A)
Gymnodiniaceae Lankester	(F, A)	(F, A)
<i>Gymnodinium sanguinum</i> Hirasaka	x	x
<i>Oxytoxum gracile</i> Schiller	(F, A)	x
<i>Oxytoxum</i> spp. Stein	x	x
<i>Prorocentrum balticum</i> [Lohmann] Loeblich III	x	x
<i>Prorocentrum emarginatum</i> Fukuyo	x	-
<i>Prorocentrum gracile</i> Schütt	x	x
<i>Prorocentrum micans</i> Ehrenberg	x	(A)
<i>Prorocentrum cf. minimum</i> (Pavillard) Schiller	x	-
<i>Prorocentrum rostratum</i> Stein	x	x
<i>Prorocentrum triestinum</i> Schiller	x	x
<i>Prorocentrum</i> spp. Ehrenberg	x	x
<i>Protopendinium</i> spp. Bergh	x	x
" <i>Pyrocystis lunula</i> " (Schütt) Schütt	x	
<i>Pyrocystis noctiluca</i> Murray ex Haeckel	x	
<i>Pyrocystis</i> spp. Murray ex Haeckel		x
<i>Scrippsiella trochoidea</i> (Stein) Loeblich III	(A)	(F, A)

1.1. Táxons Autotróficos (continuação)

EUGLENOFÍCEAS (Classe Euglenophyceae)		URCA	RAMOS
<i>Euglena</i> cf. <i>ascusformis</i> Schiller		(F, A)	(F, A)
<i>Euglena</i> spp. Ehrenberg		(F, A)	(F, A)
<i>Eutreptia</i> spp. Perty			x
<i>Eutreptiella marina</i> da Cunha		x	x
<i>Eutreptiella</i> spp. de Cunha		(F, A)	(F, A)
Euglenofícea não identificada		(F, A)	(F, A)
"OUTROS FLAGELADOS"		URCA	RAMOS
Flagelado não identificado (20-30µm)		(F, A)	(F, A)
Flagelado não identificado (31-35µm)		x	x
Criptofíceas não identificadas		x	(F, A)
<i>Tetraselmis</i> sp. Stein (Classe Prasinophyceae)		x	x
<i>Dictyocha fibula</i> Ehrenberg (Classe Chrysophyceae)		x	
<i>Mesocena</i> spp. Ehrenberg (Classe Chrysophyceae)		x	

1.2. Táxons Heterotróficos

DINOFLAGELADOS (Classe Dinophyceae)		URCA	RAMOS
<i>Amphidinium</i> spp. Claparède & Lachmann		x	x
Dinos tecados não identificados		x	x
Gymnodiniaceae Lankester		(F, A)	(F, A)
<i>Gyrodinium</i> spp. Kofoid & Swezy		x	x
<i>Noctiluca scintilans</i> (Macartney) Kofoid & Swezy		x	
<i>Oxyphysis oxytoxoides</i> Kofoid		x	(F, A)
<i>Phalacroma</i> cf. <i>ovum</i> Schütt		x	
<i>Polikrykos</i> spp. Bütschli		x	
<i>Protopendinium conicum</i> (Gran) Balech		x	x
<i>Protopendinium</i> cf. <i>conicum</i> (Gran) Balech		x	x
<i>Protopendinium</i> cf. <i>oblongum</i> (Aurivillius) Parke & Dodge			x
<i>Protopendinium</i> cf. <i>pallidum</i> [Ostenfeld] Balech		x	
<i>Protopendinium</i> cf. <i>pellucidum</i> Bergh		x	
<i>Protopendinium</i> spp. Bergh		(F)	x
EUGLENOFÍCEAS (Classe Euglenophyceae)		URCA	RAMOS
Euglenofícea não identificada		x	
"OUTROS FLAGELADOS"		URCA	RAMOS
Flagelado não identificado (20-30µm)		x	x
Flagelado não identificado (31-40µm)		x	x
<i>Ebria tripartita</i> (Schum) Lemmermann (Classe Zoomastigophorea)		(F, A)	x